

# Protocolo de uso de la Calculadora de Emisiones de GEI de *Moblise Your City* para Antofagasta

Asistencia técnica en el establecimiento de sistemas MRV para iniciativas NUMP, SUMP y NDC apoyadas por EC+ y TraCS



Fuente: soychile.cl



Financiado por la Unión Europea



Control de versiones

Fecha	Versión	Nombre de Archivo	Elaboró	Revisión
15 de febrero de 2022	2	Protocolo Calculadora MYC SUMP Antofagasta	José Pacheco, Camilo Sarmiento	Florentino Márquez



## Contenido

1	Introducción.....	6
2	Protocolo de manejo de información y uso de la calculadora MYC.....	8
2.1	Homologación de las Categorías Vehiculares.....	10
2.2	Ingreso de Datos en la Calculadora MYC.....	11
2.2.1	Pestaña 1. Inicio .....	11
2.2.2	Pestaña 2. Base de Entrada y BAU .....	11
2.2.3	Pestaña 3. Escenarios Climáticos .....	16
2.2.4	Pestaña 4. Resultados .....	18
2.2.5	Pestaña: validación Top-Down.....	19
3	Definición de responsabilidades de reporte de información.....	20
3.1	Datos macro y de contexto socio económico.....	23
3.2	Datos de actividad vehicular y movilidad .....	23
3.3	Escenarios climáticos.....	23
4	Identificación de herramientas complementarias a MYC.....	24
4.1	Modelo de cálculo de emisiones vehiculares. Chile. SECTRA-MODEM .....	24
4.2	EcoLogistics self-monitoring tool.....	25
4.2.1	Perfil de Ciudad.....	26
4.2.2	Modos de transporte .....	27
4.2.3	Evaluación de impacto .....	28
4.2.4	Resultados.....	29
4.2.5	Pilotaje de la herramienta Ecologistics en Antofagasta .....	30
4.2.6	Carga urbana-carretera:.....	30
4.3	Tablero parque vehicular - Chile.....	32
4.4	Métodos de levantamiento de información para indicadores de movilidad .....	33
5	Lineamientos para la implementación de un observatorio de movilidad y cambio climático en Antofagasta.....	36
5.1	Indicadores básicos para el seguimiento de impactos climáticos .....	36
5.2	Indicadores para monitoreo de impactos no climáticos .....	41
6	Conclusiones.....	43
7	Referencias .....	45
8	Anexos .....	46
8.1	Anexo 1. MYC_Tool_final.1.3.2_20210226_Antofagasta_VF .....	46
8.2	Anexo 2. Estudio de los escenarios climáticos en Antofagasta (Euroclima+, 2021) .....	46



8.3	Anexo 3. Estado Informacion Datos MYC Antofagasta.xlsx .....	49
8.4	Anexo 4. Encuestas de diagnóstico de capacidades .....	49
8.5	Anexo 5. Base de datos permisos circulacion.xlsx .....	49
8.6	Anexo 6. Permisos de circulacion.pbix. ....	49
8.7	Anexo 7. Ecologistics Self-monitoring Tool_es_v1.0 _Antofagasta .....	49



## Listado de tablas

Tabla 1. Campos de información requeridos por la Calculadora de Emisiones de GEI MYC. ....	8
Tabla 2. Principales fuentes de información utilizadas en la Calculadora MYC para Antofagasta. ....	9
Tabla 3. Homologación de categorías vehiculares para el Antofagasta. ....	11
Tabla 4. Número de vehículos ingresados en la calculadora MYC. ....	12
Tabla 5. Factores de actividad vehicular ingresados en la calculadora MYC. ....	13
Tabla 6. Factor de ocupación usada en la calculadora MYC. ....	13
Tabla 7. Velocidad promedio y tiempo de viaje en distintos modos de transporte. ....	14
Tabla 8. Distribución de los VKT por categoría vehicular y tipo de energético. ....	14
Tabla 9. Factores de rendimiento de energía utilizados por el modelo MODEM. ....	15
Tabla 10. Valores de rendimiento de energía ponderados y usados en la calculadora MYC. ....	16
Tabla 11. Impactos de kilómetros evitados. ....	17
Tabla 12. Modo captado de las medidas de cambio de modo. ....	17
Tabla 13. Proporción de VKT por categoría vehicular y tipo de energético. Medidas de cambiar. ....	18
Tabla 14. Resultados del inventario de emisiones, calculadora MYC. ....	18
Tabla 15. Resultados de la línea base de emisiones 2018 - 2050, calculadora MYC. ....	19
Tabla 16. Resultados de emisiones en el escenario climático 2018 - 2050, calculadora MYC. ....	19
Tabla 17. Diferencia de las emisiones de GEI entre la línea base y el escenario climático. ....	19
Tabla 18. Principales proveedores de información. ....	20
Tabla 19. Organizaciones responsables del levantamiento de información. ....	20
Tabla 20. Información mínima requerida-Perfil de la ciudad. ....	26
Tabla 21. Información mínima requerida-modo de transporte. ....	27
Tabla 22. Información mínima requerida-cambio de combustible. ....	28
Tabla 23. Información mínima requerida-Reducción de la distancia. ....	28
Tabla 24. Información mínima requerida-conducción eficiente. ....	29
Tabla 25. Información mínima requerida-entregas fuera de horario. ....	29
Tabla 26. Información socioeconómica Antofagasta. ....	30
Tabla 27. Calificación Cualitativa de los métodos. ....	34
Tabla 28. Definición de los términos de la Ecuación 1. ....	37
Tabla 29. Información de transporte para monitoreo de actividades vehiculares. ....	38
Tabla 30. Indicadores de desempeño energético y emisiones. ....	40
Tabla 31. Indicadores centrales de desempeño climático. ....	41



Tabla 32. Propuesta de indicadores no climáticos para OMBC.....	42
Tabla 33. Pases de implementación del PMUS y actividades del MRV .....	43

## Listado de figuras

Figura 1. Esquema de organización de Calculadora MYC en Excel.....	10
Figura 2. Mapa de organizaciones involucradas en la gestión de información para la calculadora MYC.....	22
Figura 3. Diagrama de la metodología general del modelo MODEM.....	25
Figura 4. Captura de pantalla home EcoLogistics.....	26
Figura 5. Captura de pantalla carga urbana: carretera Ecologistics .....	31
Figura 6. Captura de pantalla base de datos Ecologistics .....	31
Figura 7. Tablero de visualización de flota vehicular de Chile filtrado para la región de Antofagasta .....	32
Figura 8. Capturas de pantalla de Power BI para actualización de datos.....	33
Figura 9. Capturas de pantalla para configuración de origen de datos en Power BI.....	33
Figura 10. Variables necesarias para el cálculo de emisiones. Fuente: Findeter (2020) .....	37

## 1 Introducción

Este documento describe el protocolo para la utilización de la Calculadora de Emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) de Mobilise Your City (en adelante Calculadora MYC) a partir de la información local puesta a disposición por el Programa de Vialidad y Transporte Urbano del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (SECTRA), la Ilustre Municipalidad de Antofagasta (IMA) y del Gobierno Regional de Antofagasta, especialmente a la División de Planificación y Desarrollo Regional (DIPLAR). La calculadora se pone a disposición como recurso para la estimación de un inventario de emisiones de GEI, y para la evaluación y seguimiento del impacto climático de la Política de Movilidad Urbana Sostenible (SUMP) apoyada por Euroclima+.

La *Calculadora MYC* es una herramienta que tiene el propósito de apoyar a gobiernos nacionales y locales en la estimación de emisiones de GEI generadas por la operación del transporte para un año de referencia (Inventario de emisiones), y para los escenarios futuros de línea base (Business-as-usual-BAU), y de reducción de emisiones (Climate-Scenario) (Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg - IFEU, 2020). Esta herramienta se basa en datos de demanda del transporte<sup>1</sup> y de consumo de energía<sup>2</sup> para estimar las emisiones de GEI; los resultados se obtienen de manera desagregada por modo de transporte, y como indicadores de desempeño construidos a través de otros datos descriptores del transporte, el desempeño ambiental de los vehículos, y distintas tasas de crecimiento.

La Calculadora MYC **no está diseñada** para evaluar el potencial de reducción de emisiones de medidas individuales, sino para estimar el potencial de mitigación agregado de un conjunto de políticas y programas que tengan unas metas concretas en términos de la actividad de movilidad y de la canasta energética del sistema de movilidad de un territorio específico. Así mismo, esta calculadora no debe usarse para reportar inventarios según los lineamientos del IPCC y de la Convención Marco UNFCCC.

A continuación, el documento incluye las siguientes secciones:

- **Capítulo 2:** Protocolo de manejo de información y uso de la calculadora de MYC, organizado según cada una de las pestañas del archivo de Excel® en el que se basa la calculadora. Esto, para facilitar la adaptación de las fuentes de información local a los requerimientos técnicos de los datos de entrada.
- **Capítulo 3:** Definición preliminar de roles y funciones institucionales para el uso de la calculadora, los cuales podrán ser refrendados a nivel local en el marco del proceso de formalización del PIMUS. La sección incluye reflexiones relacionadas con las fuentes de información y recomendaciones para la gestión de distintos conjuntos de datos.
- **Capítulo 4:** Presenta herramientas complementarias a la calculadora MYC que pueden ser usadas para el desarrollo e implementación de procedimientos de monitoreo, reporte y verificación de emisiones. Esto incluye la *Ecological Self-monitoring Tool*, de ICLEI; un tablero de análisis del parque automotor de Chile desarrollado por Hill y un análisis sobre Métodos de levantamiento de información para indicadores de movilidad.
- **Capítulo 5:** Presenta una conceptualización de un observatorio de movilidad con indicadores útiles para alimentar los modelos de estimación de emisiones *bottom-up*, incluyendo la calculadora MYC. Esto, con el propósito de ser tenido en cuenta al momento de formalizar el esquema de seguimiento y monitoreo del SUMP de Antofagasta.

---

<sup>1</sup> Kilómetros totales recorridos (VKT) por modo de transporte.

<sup>2</sup> Factor de rendimiento de energía por modo de transporte y tipo de energético (l/100km; m<sup>3</sup>/100km; km/kWh).



El desarrollo de este documento fue posible gracias a la disponibilidad de información precisa y oportuna del proceso de elaboración del PIMUS de Antofagasta, apoyado por consultorías externas como la de Cityplanning SAS, que incluyó el desarrollo de escenarios climáticos en la calculadora MYC. Esto facilitó el análisis y validación de cálculos previos relacionados con el potencial de mitigación del plan.

## 2 Protocolo de manejo de información y uso de la calculadora MYC

Esta sección describe el protocolo para la utilización de la calculadora Mobilise Your City (MYC) a partir de la información local disponible en la ciudad de Antofagasta. Dicho protocolo se enfoca en exponer los criterios de conversión y homologación entre la información recolectada de distintas fuentes y las entradas de la calculadora. En este sentido, los siguientes numerales están ordenados según la estructura de las hojas de Excel® de la calculadora.

A continuación, la Tabla 1 presenta el listado de las variables y unidades requerido para estimar el inventario y línea base de emisiones de GEI usando la *Calculadora MYC*. En esta misma tabla se presenta el año más reciente de reporte de cada dato identificado en el caso de Antofagasta. Es importante mencionar que a través de la simulación de la Calculadora MYC (disponible en el numeral 8.1 Anexo 1) se estimaron las emisiones de GEI asociadas al transporte urbano de pasajeros y de carga; para este último, se ejecutó un piloto complementario en la herramienta Eco-Logisitcs (ver numeral 4.2)

Tabla 1. Campos de información requeridos por la Calculadora de Emisiones de GEI MYC.

Pestaña	Campo	Variable	Unidades Originales	Año de referencia
1. Input	1.1	Población	Habitantes	2017
	1.1.1	Tasas de crecimiento población	Porcentaje	2017
	1.2	PIB (GDP)	Miles millones USD	2019
	1.2.1	Tasa de crecimiento PIB	Porcentaje	2019
	2.1	Kilometraje total por categoría vehicular (VKT)	NA	NA
	2.2	Número total de vehículos por categoría vehicular (stock)	Vehículos	2019
	2.2.1	Número de vehículos por categoría y tipo de combustible	Vehículos	2019
	2.3	Factor de actividad promedio anual por categoría de vehículo	km / vehículo / año	2018
	2.3.2	Tasa crecimiento Kilometraje por categoría vehicular	NA	NA
	3.1	Factor de ocupación promedio pasajeros	pax / vehículo	2018
	3.2	Factor de ocupación promedio carga	t / vehículo	2018
	3.3	Longitud de viaje	km	2010
	3.4	Distancia recorrida por categoría de vehículo y energético - Año Base	%	2018
	3.4.1	Proyección distancia recorrida por categoría de vehículo y energético	NA	NA
	3.5	Consumo promedio de energía por categoría vehicular	l / 100 km	2018
	3.5.2	Tasa de reducción de consumo de energía por categoría vehicular	NA	NA



Pestaña	Campo	Variable	Unidades Originales	Año de referencia
	3.6	Contenido CO <sub>2</sub> de electricidad Año Base	g CO <sub>2e</sub> /kWh	2018
	3.6.1	Contenido CO <sub>2</sub> de electricidad a 2050	g CO <sub>2e</sub> /kWh	2018
2. Top-Down Validation	4.1	Equilibrio Energético Terrestre / Férreo Gasolina	NA	NA
	4.2	Equilibrio Energético Terrestre / Férreo Diesel	NA	NA
	4.3	Equilibrio Energético Terrestre / Férreo Eléctrico	NA	NA
	4.4	Equilibrio Energético Terrestre / Férreo GLP	NA	NA
	4.5	Equilibrio Energético Terrestre / Férreo GN	NA	NA
2.A. Climate Scenario	5.3	Kilómetros evitados para modos individuales, resultado de las medidas <i>Avoid</i> .	%	2020
	5.4	Kilómetros adicionales por modo, resultado de las medidas de Cambio de Modo.	Millones km	2020
	5.5	Factor de ocupación promedio pasajeros (nuevo resultado de las medidas de Cambio de Modo)	pax / vehículo	2020
	5.6	Modo de transporte original de los nuevos pasajeros del TPC.	NA	2020
	5.7	Cuota de VKT por tipo de combustible en Escenario Climático	%	2020
	5.8	Consumo específico de combustible en Escenario Climático	NA	NA
3. Results	6.1	Inventario GEI - TTW	Miles toneladas GEI	2020
	6.2	Inventario GEI - WTW	Miles toneladas GEI	2020

Por su parte, la Tabla 2 presenta los documentos y referencias usados en la construcción de este protocolo; y la Figura 1 presenta un esquema de la organización de las hojas de cálculo de la Calculadora MYC dentro de archivo de Microsoft Excel.

Tabla 2. Principales fuentes de información utilizadas en el montaje de la Calculadora MYC para la ciudad de Antofagasta.

Referencia	Nombre	Autor
1	Encuesta Anual de Permisos de Circulación. Noviembre 2020.	Instituto Nacional de Estadística (INE)
2	Estrategia Nacional de Movilidad Sostenible y Programa Nacional de Movilidad Urbana para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles de Ámbito Urbano (IEFMU). 2020.	(GreenLab-Dictuc S.A. - Euroclima+, 2020)
3	Hoja de cálculo anexa a la Referencia 2. IEFMU – Annex1.xls	(GreenLab-Dictuc S.A. - Euroclima+, 2020)

Referencia	Nombre	Autor
4	Guía Metodológica de Inventario de Emisiones Atmosféricas. Metodología SINCA. 2011.	Ambiosis
5	Encuesta origen-destino de Antofagasta 2010.	(SECTRA & Trasa Ingeniería, 2010)
6	Plan de Movilidad Urbana Sostenible PMUS-Antofagasta. 2021	(Euroclima+, 2021)
6a	Plan de Movilidad Urbana Sostenible PMUS-Antofagasta. 2021. Capítulo 6: evaluación de medidas orientada al uso de la calculadora MYC.	(Euroclima+, 2021)

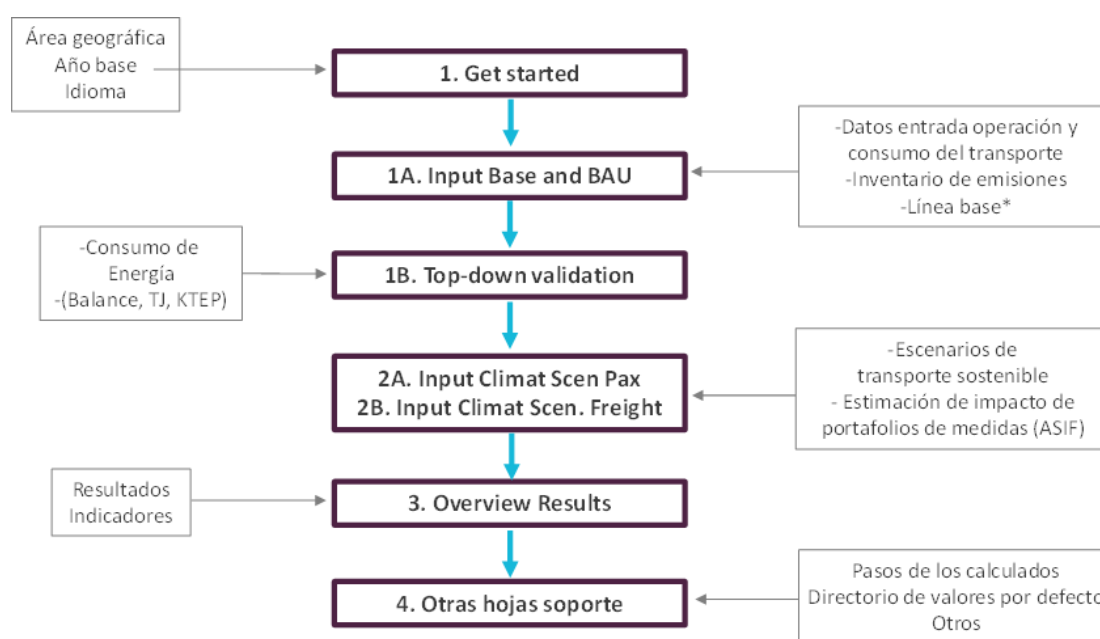


Figura 1. Esquema de organización de Calculadora MYC en Excel.

## 2.1 Homologación de las Categorías Vehiculares.

Es necesario homologar las definiciones de categorías vehiculares entre las diferentes fuentes de información y registros existentes a nivel local, y las entradas de la calculadora MYC. A escala local se tienen dos referencias que son de interés en el marco de este protocolo:

- El Registro de Permisos de Circulación, el cual es administrado por el Instituto Nacional de Estadística (INE), presenta las cifras oficiales del parque de vehículos en circulación (Referencia 1, en la Tabla 2).
- El Modelo de Emisiones Vehiculares MODEM, el cual presenta los valores de factores de emisión de contaminantes y los factores de consumo de energía (Referencia 2 y 3 en la Tabla 2).

La Tabla 3 presenta la homologación de categorías vehiculares propuesta para Antofagasta, las definiciones detalladas de las categorías vehiculares se presentan en la referencia 4 de la Tabla 2.



Tabla 3. Homologación de categorías vehiculares para el Antofagasta.

MYC	INE	SECTRA - MODEM - COPERT
Auto Privado	Automóvil, Station wagon, todo terreno	Private Vehicle
Taxi	Taxi (básico, colectivo, turismo)	Collective Taxi
Motocicleta	Motocicleta	Motorcycle
VCL	Camioneta, Furgón	Commercial Vehicle
Minibus	Minibus	Bus
Bus	Bus	
Camión	Camión	Truck
Camión Articulado	Tractocamión	Truck

## 2.2 Ingreso de Datos en la Calculadora MYC

### 2.2.1 Pestaña 1. Inicio

En esta parte de la calculadora se diligencian los siguientes campos de información general:

- **Ciudad:** Antofagasta. La definición del área geográfica sobre la cual se van a incluir las fuentes de emisión es muy importante en la significancia de los resultados, en este caso corresponde a la ciudad de Antofagasta.
- **Año de referencia:** 2019. La definición del año base del cálculo es una decisión muy importante. Por una parte, es consecuente usar el mismo año que las referencias oficiales del Gobierno (v.g., BUR, CN, NDC) y poder mantener un mismo marco de referencia. Así mismo, existe información y estudios actualizados en el tema, lo cual permite plantear nuevos ejercicios y escenarios. En este caso se selecciona año 2019 debido a que es el último dato disponible de la flota de vehículos y reconcomiendo que el factor de rendimiento de energía no es muy distante (2018).
- **Idioma:** Español
- **Alcance:** Se incluyen todas las emisiones de transporte urbano de pasajeros y de carga.

### 2.2.2 Pestaña 2. Base de Entrada y BAU

#### 1. Información Socio-Económica

##### a) Población.

La población reportada por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) para el año 2017 es de 398,843 habitantes (INE, 2017). La tasa de crecimiento de la población es del 1.5% anual.

##### b) Producto Interno Bruto (PIB)

El PIB de Antofagasta se estima en 15.9 billones de dólares (ODEPA, 2019). La tasa de crecimiento de Antofagasta no se encontró disponible y por lo tanto para este ejercicio se usa la tasa nacional correspondiente al 1.2%; esta tasa corresponde al promedio de los últimos cinco años reportados por el observatorio de datos del Banco Mundial.



## II. Stock de Vehículos

Los datos de la cantidad de vehículos de la ciudad de Antofagasta corresponden a la Referencia 1 y se organizaron en un visualizador de datos que se puede consultar en el siguiente enlace:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrJoiNWUwYTU0NjEtNmJkNC00NGQ5LTkzNDAtZWMOODcyYjRmMDYzIiwidCI6IjY0NTgwMmE1LWRmYWYtNDEwOS1iOWYzLTZiNjc3OTE4OTlhZSJ9>

Para determinar el número de vehículos en cada categoría MYC se deben sumar los valores de las categorías correspondientes, como se presenta en la Tabla 3. La Ecuación 1 muestra un ejemplo para la categoría vehicular MYC VCL.

*Ecuación 1. Número de vehículos para la categoría vehicular MYC VCL según los criterios de homologación.*

$$\#VCL = \#Camioneta + \#Furgón$$

El número de vehículos por categoría que se ingresó a la calculadora MYC se presenta en la Tabla 4

*Tabla 4. Número de vehículos ingresados en la calculadora MYC.*

Tipo vehículo	Número de vehículos
Auto Privado	67.867
Taxi Individual	2.701
Motocicleta	2.547
Minibús	1.511
Bus	1.027
VCL	17.674
Camión	3.671
Camión articulado	1.659

## III. Promedio Anual de Kilometraje por Vehículo.

Los datos de actividad vehicular se tomaron de la referencia al documento “Estrategia Nacional de Movilidad Sostenible y Programa Nacional de Movilidad Urbana para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. Inventario de Emisiones. 2020” (GreenLab-Dictuc S.A. - Euroclima+, 2020). Las categorías vehiculares MYC: motocicleta, minibús, bus, camión, y camión articulado, reportan un único valor de nivel de actividad cada una, por lo cual el ingreso a la calculadora es directo.

Sin embargo, para las categorías: vehículo particular, taxi y VCL, se reportan dos valores de nivel de actividad, asociado a su vez a dos tipos de energéticos (gasolina y diésel). Por lo tanto, para ingresar el valor de actividad de dichas categorías a la calculadora MYC se realizó una ponderación tal como se presenta en la Ecuación 2.

*Ecuación 2. Ponderación del factor de actividad para las categorías Vehículo Particular y Taxi.*

$$[Km/año]_{VP} = \frac{([Km/año]_{VP.Gasolina} \times \#VP. Gasolina) + ([Km/año]_{VP.Diesel} \times \#VP. Diesel)}{\#VP} ;$$



$$[\text{Km/año}]_T = \frac{([\text{Km/año}]_{T.\text{Gasolina}} \times \#T.\text{Gasolina}) + ([\text{Km/año}]_{T.\text{Diesel}} \times \#T.\text{Diesel})}{\#T};$$

$$[\text{Km/año}]_{\text{VCL}} = \frac{([\text{Km/año}]_{\text{VCL.Gasol}} \times \#\text{VCL.Gasol}) + ([\text{Km/año}]_{\text{VCL.Diesel}} \times \#\text{VCL.Diesel})}{\#\text{VCL}};$$

La Tabla 5 presenta los valores de los factores de actividad vehicular ingresados en la calculadora MYC.

*Tabla 5. Factores de actividad vehicular ingresados en la calculadora MYC.*

Tipo vehículo	(km/año/vehículo)
Auto Privado	12,238
Taxi Individual	46,239
Motocicleta	2,986
Minibús	96,590
Bus	96,590
VCL	28,151
Camión	5,993
Camión articulado	5,993

#### IV. Ocupación y distancia de viaje.

##### a) Tasa de carga u ocupación.

La información de ocupación vehicular, tanto en pasajeros como en toneladas, es reportada por la hoja de cálculo Anexo a la referencia (GreenLab-Dictuc S.A. - Euroclima+, 2020) y se presenta en la Tabla 6.

*Tabla 6. Factor de ocupación usada en la calculadora MYC*

Modo de transporte	(Pasajeros / vehículo)
Auto Privado	1.6
Taxi Individual	2.1
Motocicleta	1
Transporte Público Colectivo	16.6
Transporte de carga	40 (ton/veh)

##### b) Distancia promedio de viaje

Antofagasta cuenta con estudios de gran importancia sobre la gestión del transporte urbano tales como la encuesta origen-destino de 2010, el análisis de desarrollo de planes maestros de gestión de tránsito de 2014, y el PMUS de 2021. Sin embargo, en ninguna de las fuentes anteriores se reporta la distancia de viaje por modo de transporte, más se presentan datos de velocidad promedio y tiempos de viaje para algunos modos de transporte. Con estos indicadores, se estimó la distancia de viaje a través de una aproximación simple donde la distancia es igual al producto de la velocidad por el tiempo. Los datos relacionados se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Velocidad promedio y tiempo de viaje en distintos modos de transporte.

Modo	V [km/h]	t [mm]	t [h]	X [km] <sup>3</sup>
Particulares	32.1	21	0.35	11.24
Buses	24.2	23.6	0.39	9.52
Taxi Colectivo	31.8	25	0.422	13.25
Taxi Básico	ND	20	0,33	ND

#### V. Desglose de actividad por tipo de combustible.

Los datos reportados por (GreenLab-Dictuc S.A. - Euroclima+, 2020) contienen el número de vehículos y el factor de actividad diferenciado por categoría vehicular y para los energéticos diésel y gasolina. Multiplicando estas cantidades es posible obtener los VKT totales por categoría y tipo de energético, con lo cual se pueden expresar las cantidades en porcentaje tal como lo requiere la calculadora MYC. Estos valores se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Distribución de los kilómetros totales recorridos (VKT) por categoría vehicular y tipo de energético.

Categoría	Porcentaje
Auto Privado - Gasolina	92%
Auto Privado - Diésel	8%
Taxi - Gasolina	86%
Taxi - Diésel	14%
Motocicletas - Gasolina	100%
VCL - Gasolina	6%
VCL - Diésel	94%
Minibús - Diésel	100%
Bus - Diésel	100%

Es importante tener en cuenta que la categoría MYC “VCL” agrupa dos categorías vehiculares del contexto local<sup>4</sup>, por lo cual los porcentajes de kilómetros recorridos por tipo de energético fueron estimados a partir de la sumatoria de los VKT de las dos categorías mencionadas, tal como se presenta en la Ecuación 3.

Ecuación 3. Actividad vehicular por tipo de energético en la categoría vehicular VCL de la calculadora MYC.

$$VKT_{VCL, Gasolina} = \frac{VKT_{G, Camioneta} + VKT_{G, Furgón}}{VKT_{VCL}} ;$$

$$\%VKT_{VCL, Diesel} = \frac{VKT_{D, Camioneta} + VKT_{D, Furgón}}{VKT_{VCL}} ;$$

<sup>3</sup> Valor estimado a partir de los otros datos.

<sup>4</sup> Camioneta y furgón.



$$VKT_{VCL} = VKT_{VCL,Gasolina} + VKT_{VCL,Diesel}$$

## VI. Consumo de energía.

### a) Consumo promedio de energía.

El factor de consumo de energía es fundamental en la estructura del modelo MODEM y por lo tanto se dispone de estos datos para distintas categorías vehiculares, tipos de energético, y estándar de tecnología del motor. Esta información se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Factores de rendimiento de energía utilizados por el modelo MODEM.

Tipo de Vehículo	Energético	Tecnología	Rendimiento (l/100 km)
Auto Privado	Gasolina	No Catalítico	7.88
		Euro 1	6.6
		Euro 3	6.73
		Euro 4	6.87
		Euro 5	6.78
Auto Privado	Diésel	Sin Norma	6.11
		Euro 1	5.32
		Euro 3	5.38
		Euro 4	5.38
		Euro 5	5.38
Taxi	Gasolina	Euro 1	11.62
		Euro 3	6.5
		Euro 4	6.65
		Euro 5	6.64
Taxi	Diésel	Euro 1	5.28
		Euro 3	5.3
		Euro 4	5.3
		Euro 5	5.3
Motocicleta	Gasolina	Sin Norma	3.14
		Euro 1	2.4
Commerical Vehicle	Gasolina	Euro 1	10.12
		Euro 2	9.79
		Euro 3	10.12
		Euro 4	10.12
		Euro 5	5.56
Commerical Vehicle	Diésel	Sin Norma	8.05
		Euro 1	7.27
		Euro 2	7.19
		Euro 3	7.27
		Euro 4	7.27
		Euro 5	7.27
Minibus / Bus	Diésel	Euro 6	7,12
		Sin Norma	33.45
		Euro 2	27.42
		Euro 3	28.86
	Diésel	Euro 5	26.65
	Diésel	Sin Norma	18.94

Tipo de Vehículo	Energético	Tecnología	Rendimiento (l/100 km)
Camión Pequeño / Articulado		Euro 1	14.51
		Euro 2	16.16
		Euro 3	15.06
		Euro 4	21.68
		Euro 5	14.69
		Euro 6	24.94

Teniendo en cuenta que la calculadora MYC admite solamente un único valor de rendimiento por categoría vehicular y tipo de energético, se realizó una ponderación teniendo en cuenta el número de vehículos correspondientes a cada estándar de tecnología el cual también está comprendiendo en el modelo MODEM. La Ecuación 4 presenta el cálculo seguido para realizar la ponderación de valores de rendimiento, mediante el ejemplo de la categoría de taxis a gasolina. La Tabla 10 presenta los valores de rendimiento de energía ponderados y usados en la calculadora MYC.

*Ecuación 4. Ponderación de valores de rendimiento de energía. Ejemplo: taxis a gasolina.*

$$\text{Rendimiento}_{\text{Taxi-gasolina}} = \frac{(\#\text{Taxi}_{\text{GEuroI}} \times \text{Rend}_{\text{TGEuroI}}) + (\#\text{Taxi}_{\text{GEuroII}} \times \text{Rend}_{\text{TGEuroII}}) + \dots}{\#\text{Total Taxis Gasolina}}$$

*Tabla 10. Valores de rendimiento de energía ponderados y usados en la calculadora MYC.*

Categoría	(l/100 km)
Auto Privado - Gasolina	6.8
Auto Privado - Diésel	5.4
Taxi - Gasolina	6.9
Taxi - Diésel	5.3
Motocicletas - Gasolina	2.5
Minibús - Diésel	28.3
Bus - Diésel	28.3
VCL - Gasolina	9.9
VCL - Diésel	7.3

#### b) Contenido del CO<sub>2</sub> en la energía eléctrica.

El contenido de CO<sub>2</sub> en la energía eléctrica a través del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) es de 418.7g CO<sub>2e</sub>/kWh para el año 2018 (Ministerio de Energía de Chile, 2018).

#### 2.2.3 Pestaña 3. Escenarios Climáticos

La metodología de evaluación de escenarios climáticos de la Calculadora MYC se divide en tres procesos independientes, asociados a la estimación de impactos de medidas agrupadas en las categorías de i) evitar, ii) cambiar, y iii) mejorar, la realización de viajes urbanos. Por lo tanto, es necesario contar con la evaluación de las medidas en términos de transporte en el siguiente marco de contexto:

- a) **Medidas de evitar:** porcentaje de kilómetros recorridos (VKT) que pueden evitarse con las medidas de mitigación previstas.



- b) **Medidas de cambio de modo:** posibles kilómetros adicionales de las categorías vehiculares de transporte público. Ajustes de las nuevas tasas de ocupación vehicular. Modo original de los viajes antes de la implementación de las medidas.
- c) **Medidas de mejora en la eficiencia:** proporción de kilómetros recorridos por clase de vehículo y tipo de energético en el periodo de análisis. Cambio en el consumo de combustible específico por clase de vehículo y tipo de energético.

Dentro del estudio macro de (Euroclima+, 2021) se realizó un diseño de escenarios climáticos a partir de metas de implementación de medidas previamente definidas y organizadas. El numeral 8.2 – Anexo 2, presenta un resumen general de las consideraciones del estudio para definir los escenarios climáticos. En este reporte se usan los datos asociados al Escenario Climático 2; el estudio macro es un hito en el estudio de consultoría macro del cual hace parte este reporte; pues ninguna otra ciudad cuenta con información levantada a la medida.

El equipo de Hill pone a disposición la siguiente encuesta en línea para procesos de legitimación o redefinición de metas con las características que requiere la herramienta:

- Escenarios para transporte de pasajeros: <https://es.surveymonkey.com/r/9LY53RT>
- Escenarios para transporte de carga: <https://es.surveymonkey.com/r/9LLD32Q>

#### I. Medidas de Evitar viajes.

La Tabla 11 presenta el porcentaje de kilómetros evitados como resultado de la implementación de las medidas asociadas a evitar la realización de viajes.

Tabla 11. Impactos de kilómetros evitados.

Categoría	2020	2025	2030	2040	2050
Auto Privado	0%	2%	3%	5%	7.5%
Taxi	0%	2%	3%	5%	7.5%
Motocicletas	0%	2%	3%	5%	7.5%

#### II. Medidas de Cambiar el modo de los viajes.

Dentro de las medidas de cambio de modo se estima, únicamente, un aumento del 8% en los kilómetros del modo Metro en 2030, y del 8.5% en 2040 y del 9% en 2050, el factor de ocupación del modo Metro en todo el periodo es de 40 pasajeros / vehículo. La tabla 15 presenta el modo captado por el modo Metro dentro de las medidas de cambio de modo, estos valores se mantienen en todo el periodo de análisis.

Tabla 12. Modo captado de las medidas de cambio de modo.

Tipo vehículo	Porcentaje
Auto Privado	25%
Taxi Individual	2%
Bus	45%
Tráfico Inducido	28%

### III. Medidas de Mejorar la eficiencia de los viajes.

Las medidas de mejorar la eficiencia energética de la prestación de los servicios de transporte se estiman como un cambio en la matriz energética del sector, hacia la inclusión de energía eléctrica en determinados modos de transporte, tal como se presenta en la Tabla 13. A diferencia de otros indicadores, estos impactos son diferentes en el periodo de análisis. No se consideran medidas de mejorar el rendimiento específico de los vehículos.

Tabla 13. Proporción de kilómetros recorridos por categoría vehicular y tipo de energético. Medidas de cambiar.

Categoría	2025	2030	2040	2050
Auto Privado - Gasolina	86.0%	60.0%	45.0%	10.0%
Auto Privado - Diésel	10.0%	16.0%	12.0%	10.0%
Auto Privado - Híbrido	1.0%	4.0%	8.0%	20.0%
Auto Privado - Eléctrico	3.0%	20.0%	35.0%	60.0%
Taxi - Gasolina	78.0%	50.0%	0.0%	0.0%
Taxi - Diésel	12.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Taxi - Eléctrico	10.0%	50.0%	100.0%	100.0%
Motocicletas - Gasolina	95.0%	90.0%	75.0%	40.0%
Motocicletas - Eléctrico	5.0%	10.0%	25.0%	60.0%

#### 2.2.4 Pestaña 4. Resultados

A continuación, se presentan algunos resultados generados por la calculadora MYC. El inventario de emisiones estimado por la calculadora MYC para la ciudad de Antofagasta para el año 2018 es de 314,000 toneladas de CO<sub>2e</sub>. El RETC reporta un inventario de 296,572 toneladas de CO<sub>2e</sub> para el “transporte en ruta” de Antofagasta en el año 2017 (Euroclima+, 2021).

La Tabla 14 presenta los resultados desagregados dentro del sector transporte. La Tabla 15, por su parte, presenta la línea base de emisiones proyectada entre 2018 y 2050. Es importante mencionar que, debido a la ausencia de información relacionada con el crecimiento de la actividad vehicular, se tomó como tasa de crecimiento para el transporte de pasajeros el mismo valor de la tasa de crecimiento de la población, y para la el transporte de carga se usó la tasa de crecimiento del PIB.

Tabla 14. Resultados del inventario de emisiones, calculadora MYC.

Código en el Common Reporting Format (CRF) de IPCC	Categorías IPCC	1000t GEI TTW
1.A.3.b.i	Ruta-coche	152.9
1.A.3.b.ii	Ruta- Vehículo comercial ligero	100.2
1.A.3.b.iii	Ruta- Camión y buses	89.9
1.A.3.b.iv	Ruta- Motocicleta	0.4
1.A.3.c	Ferrocarril	0.0
Total		343.4

Tabla 15. Resultados de la línea base de emisiones 2018 - 2050, calculadora MYC.

Emisiones totales de GEI Escenario BAU TTW (1000 tCO <sub>2e</sub> )						
Escenario BAU	2019	2020	2025	2030	2040	2050
Pasajero BAU	230.0	235.5	251.5	271.0	314.5	365.0
Carga BAU	113.0	114.7	121.7	129.2	145.6	164.0
Suma	343.4	348.2	373.2	400.2	460.1	529.0

La Tabla 16 presenta las emisiones del transporte urbano de pasajeros bajo el escenario climático, y la Tabla 17 la diferencia porcentual en las emisiones entre ambos escenarios.

Tabla 16. Resultados de emisiones en el escenario climático 2018 - 2050, calculadora MYC.

Emisiones totales de GEI escenario climático TTW (1000t CO <sub>2e</sub> )						
Escenario climático	2017	2020	2025	2030	2040	2050
Pasajero Clima	230	233.5	240.1	217.1	206.1	158.1
Carga Clima	113.0	114.7	121.7	129.2	145.6	164.0
Suma	343.4	348.2	361.8	364.3	351.6	322.1

Tabla 17. Diferencia de las emisiones de GEI entre la línea base y el escenario climático.

Diferencia de las emisiones de GEI entre la BAU y el escenario climático TTW (1000t CO <sub>2e</sub> )					
Año	2020	2025	2030	2040	2050
Escenario climático vs BAU	0.0%	-3.1%	-13.5%	-23.6%	-39.1%

### 2.2.5 Pestaña: validación Top-Down

Este ejercicio es muy útil para cerrar las brechas existentes entre las metodologías de abajo hacia arriba (usada por la Calculadora MYC a partir de la actividad vehicular y rendimiento de energía), y de arriba hacia abajo (basada en el consumo o venta total de energía en el sector transporte). Esta armonización sirve para comprender de mejor manera el orden de los resultados, y mejorar la calidad de información, variables, e indicadores utilizados en los cálculos.

No se encontró una fuente oficial del consumo de energía para la ciudad de Antofagasta, aun cuando la plataforma [Energía Abierta de Chile](https://energiaabierta.cl/) hay balances regionales que, sin embargo, no presentan datos desagregados por ciudad. Por lo tanto, para el caso de Antofagasta, no se desarrolló la validación *top-down* en la calculadora MYC. La estimación de consumo energético asociada a la metodología *bottom-up* es de 49 TOE (*Tons of Oil Equivalent*) de gasolina y de 62 TOE de diésel.

Finalmente, el numeral 8.3 – Anexo 3, presenta el estado y las fuentes exactas de la información que fue cargada en la calculadora MYC para el caso del PMUS de Antofagasta. Derivado de esta experiencia, la siguiente sección describe las necesidades de distribución de responsabilidades para facilitar la gestión de datos

### 3 Definición de responsabilidades de reporte de información.

La coordinación institucional es crucial para garantizar el reporte de información requerido por la calculadora MYC y los procesos de seguimiento y monitoreo del cumplimiento de metas climáticas PMUS Antofagasta. Por ello, a partir de la identificación de fuentes de datos (Tabla 18) y de la encuesta de capacidades locales (Ver numeral 8.4 – Anexo 3) y de las reuniones con SECTRA y DIPLAR, se construyó un mapa de actores con responsabilidades asociadas al levantamiento y verificación de cinco conjuntos de datos diferentes. Sin embargo, la Ley de Descentralización de Chile<sup>5</sup> abre nuevas posibilidades de coordinación y liderazgo regional en materia de planificación de transporte, como la creación de la División de Infraestructuras y Transportes (DIT) que podría reemplazar a la DIPLAR en las funciones de planificación de la movilidad urbana.

Tabla 18. Principales proveedores de información

Nombre	Autor	Referencia
Encuesta Anual de Permisos de Circulación. Noviembre 2020.	INE – Instituto Nacional de Estadísticas	(Instituto Nacional de Estadísticas, 2020)
Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles de Ámbito Urbano (IEFMU). 2020.	GreenLab – Dictuc S.A - Euroclima +	(GreenLab-Dictuc S.A. - Euroclima+, 2020)
Hoja de cálculo anexa al IEFMU – Annex I.xls	GreenLab – Dictuc S.A - Euroclima +	(GreenLab-Dictuc S.A. - Euroclima+, 2020)
Factor de emisión de la energía eléctrica	Comisión Nacional de Energía.	(Comisión Nacional de Energía, 2018)
Plan de Movilidad Urbano Sostenible de Antofagasta	Cityplanning, por encargo de GIZ (Euroclima+)	(GIZ, 2021)

La Tabla 19 muestra estos conjuntos de datos, incluyendo las organizaciones (tanto nacionales como regionales y municipales) sobre las que sugerimos que recaiga la principal responsabilidad de reporte de información, y aquellas que pueden revisar y avalar cifras para el contexto local de Antofagasta. En esta tabla también se incluye el listado específico de variables asociadas a cada conjunto de datos, según los requerimientos de la calculadora.

Tabla 19. Organizaciones responsables del levantamiento de información.

Conjunto de datos	Entidades responsables	VARIABLES para reportar
<b>Datos económicos y sociodemográficos.</b>	<i>Responsable principal:</i> INE <i>Revisión y aprobación de cifras:</i> GORE – DIPLAR y División de Desarrollo Social y Humano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Población</li> <li>• Tasas de crecimiento población</li> <li>• PIB (GDP)</li> <li>• Tasa de crecimiento PIB</li> </ul>
<b>Características del parque automotor.</b>	<i>Responsable principal:</i> INE y Dirección de Transporte y Tránsito de IMA <i>Revisión y aprobación de cifras:</i> SECTRA y GORE – DIT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número total de vehículos por categoría vehicular (stock)</li> <li>• Número de vehículos por categoría y tipo de combustible</li> </ul>

<sup>5</sup> Ley N°21.074 de Fortalecimiento de la Regionalización del País, que modifica la Ley N°19.175 sobre Gobierno y Administración Regional.

Conjunto de datos	Entidades responsables	VARIABLES PARA REPORTAR
<b>Demanda de energía.</b>	<p><i>Responsable principal:</i> Comisión Nacional de Energía (CNE) y Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)</p> <p><i>Revisión y aprobación de cifras:</i> SEREMI de Ministerio de Energía y Ministerio de Medio Ambiente (MMA), GORE - DIPLAR</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenido CO<sub>2</sub> de electricidad Año Base</li> <li>• Contenido CO<sub>2</sub> de electricidad a 2050</li> <li>• Consumo promedio de energía por categoría vehicular</li> <li>• Tasa de reducción de consumo de energía por categoría vehicular</li> <li>• Consumo específico de combustible en Escenario Climático</li> </ul> <p><i>Balance energético para validación Top-down</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Equilibrio Energético Terrestre / Férreo Gasolina</li> <li>• Equilibrio Energético Terrestre / Férreo Diésel</li> <li>• Equilibrio Energético Terrestre / Férreo Eléctrico</li> <li>• Equilibrio Energético Terrestre / Férreo GLP (gas licuado de petróleo)</li> <li>• Equilibrio Energético Terrestre / Férreo GN (gas natural vehicular)</li> </ul>
<b>Operaciones de transporte</b>	<p><i>Responsable principal:</i> SECTRA y GORE – DIPLAR y DIT</p> <p><i>Revisión y aprobación de cifras:</i> Dirección de Tránsito y Transporte Público de la Municipalidad de Antofagasta.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Factor de actividad promedio anual por categoría de vehículo</li> <li>• Tasa crecimiento Kilometraje por categoría vehicular</li> <li>• Factor de ocupación promedio pasajeros</li> <li>• Factor de ocupación promedio carga</li> <li>• Longitud de viaje</li> <li>• Distancia recorrida por categoría de vehículo y energético - Año Base</li> </ul>
<b>Planificación y construcción de escenarios</b>	<p><i>Responsable principal:</i> GORE – DIPLAR y DIT</p> <p><i>Revisión y aprobación de cifras:</i> Municipalidad de Antofagasta – SECOPLAN y Dirección de Tránsito y Transporte Público</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proyección distancia recorrida por categoría de vehículo y energético</li> <li>• Kilómetros evitados para modos individuales, resultado de las medidas Avoid.</li> <li>• Kilómetros adicionales por modo, resultado de las medidas de Cambio de Modo.</li> <li>• Factor de ocupación promedio pasajeros (nuevo resultado de las medidas de Cambio de Modo)</li> <li>• Modo de transporte original de los nuevos pasajeros del TPC.</li> <li>• Cuota de VKT por tipo de combustible en Escenario Climático</li> <li>• Kilometraje total por categoría vehicular (VKT)</li> </ul>

La Figura 2. Mapa de organizaciones involucradas en la gestión de información para la calculadora MYC, en concordancia con la tabla anterior. En ella, se destaca el rol que puede cumplir la Dirección de Planificación Regional del GORE como líder en la tarea de actualizar, recopilar y reportar información proveniente de distintas entidades nacionales, regionales y municipales. Este rol de liderazgo puede apoyarse en la Mesa Técnica del PMUS, en donde además participan SECOPLAN y la Dirección de Tránsito de la Municipalidad, SEREMITT Antofagasta, SECTRA, SEREMI Medioambiente Antofagasta (MMA), y SEREMI Energía Antofagasta (MINER), que son entidad que también se incluyen en la Tabla 19.



Figura 2. Mapa de organizaciones involucradas en la gestión de información para la calculadora MYC

El rol de liderazgo del GORE puede facilitar el monitoreo de datos, siempre y cuando se definan formalmente los canales para el reporte de datos. Para ello, se sugiere el establecimiento de dos instancias:

- **Comité de seguimiento y monitoreo de movilidad:** Se sugiere la creación de esta instancia con participación de las entidades destacadas en la Figura 2 en el marco de la mesa técnica del PMUS (Mesa de Movilidad Sustentable). En este comité pueden exponerse el conjunto de datos que permiten el monitoreo y la evaluación de impactos sociales, ambientales y económicos de proyectos de movilidad, así como las estrategias para mejorar paulatinamente las metodologías para el levantamiento y procesamiento de información. Se sugiere que el comité se reúna trimestralmente.
- **Solicitud anual de actualización de información:** Como parte del proceso de seguimiento a la implementación de los proyectos y programas de movilidad sostenible y baja en carbono, se sugiere que la DIPLAR envíe comunicaciones oficiales a los niveles directivos de las



organizaciones mapeadas, solicitando la actualización de las variables asociadas a cada conjunto de datos. Con las respuestas oficiales en archivos planos o Excel® puede actualizarse la información consignada en la calculadora para calcular inventarios anuales y evaluar el progreso en el cumplimiento de las metas climáticas acordadas ex ante.

Finalmente, de acuerdo con la experiencia acumulada en esta asistencia técnica, se comparte a continuación algunas reflexiones, sugerencias y buenas prácticas para mejorar la gestión de los datos y el reporte de estos en la calculadora.

### 3.1 Datos macro y de contexto socio económico

Los datos de población no corresponden a un reporte anual, sino que se cuenta con la cifra del censo oficial para 2017; este dato es de buena calidad, pero es ideal contar con un reporte más actualizado.

La información del PIB fue difícil de obtener con claridad para la ciudad de Antofagasta; se identificaron estudios y documentos que reportan esta variable, pero a escala de región (Región II de Antofagasta). Esta deficiencia impide comparar indicadores de desempeño con otras ciudades de la región. El valor usado provisionalmente en la Calculadora MYC corresponde al PIB regional.

### 3.2 Datos de actividad vehicular y movilidad

La gestión de contabilidad de emisiones de fuentes móviles que realiza SECTRA, a través de los modelos MODEM, MODEC y de su integración con los modelos de transporte en 22 ciudades de Chile, es algo ejemplar y avanzado. El modelo MODEM provee información de actividad vehicular, rendimiento, y factores de emisión, incluso segregado por estándares de tecnología, para el año base 2018.

Sobre las variables de movilidad se resalta que a pesar de que la ciudad cuenta con análisis de matriz origen-destino, y documentos de Plan de Movilidad, no se tiene la información de distancia de viaje promedio. Los datos de factor de ocupación son provistos por el modelo MODEM; tampoco se encuentran reportados en otra fuente.

### 3.3 Escenarios climáticos

Dependen de los procesos de toma de decisión y los instrumentos analíticos y de modelación con que cuenten los equipos de gobierno encargados de ello.

Para la evaluación de escenarios climáticos es necesario contar con políticas o acciones concretas en movilidad sostenible; con metas y objetivos precisos de los cuales se puedan derivar simulaciones o modelos prospectivos. Es necesario evaluar el impacto de estas acciones en términos de movilidad y transporte (v.g. cambios en la distribución modal y ocupación, actividad vehicular adicional), y en términos tecnológicos respecto a la flota de vehículos (v.g. nuevos energéticos, cambios en los rendimientos de energía). Estas decisiones corresponden a las entidades del Gobierno encargadas de establecer las políticas sectoriales frente a los compromisos del país ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) y otras agendas de sostenibilidad.

En el caso de Antofagasta se cuenta con estudio en el cual se evaluaron los impactos de varios paquetes de medidas de transporte sostenible y por ende representa un insumo de gran calidad para la Calculadora MYC. En la sección “Pestaña 3. Escenarios Climáticos” se describe con detalle esta información. De todas formas, la administración de un modelo de transporte de 4 etapas por parte de una autoridad local (GORE o IMA) sería ideal para hacer revisión y actualización de las metas, en las métricas específicas de la calculadora MYC.

## 4 Identificación de herramientas complementarias a MYC

### 4.1 Modelo de cálculo de emisiones vehiculares. Chile. SECTRA-MODEM

El Programa de Vialidad y Transporte Urbano SECTRA, de la Subsecretaría de Transportes del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT), es un organismo técnico especializado de planificación de transporte. Sus principales funciones son proponer planes de desarrollo de los sistemas de transporte urbano, evaluar socialmente iniciativas de inversión en infraestructura y gestión de los sistemas de transporte y desarrollar las metodologías y modelos necesarios para el análisis en transporte (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile, 2021).

Resultado de la gestión de SECTRA en Chile se cuenta con una línea de trabajo consolidada en cuanto la caracterización de la movilidad, la modelación de escenarios de transporte, y la estimación de impactos ambientales y económicos asociados (Modelo MODEC) en 22 centros urbanos del país; incluido Antofagasta. De esta manera se cuenta con información de base para incluir en la calculadora MYC. En el año 2001 se desarrolló la metodología para realizar las estimaciones de niveles de emisiones atmosféricas generados por los vehículos. Esta metodología fue concebida basándose en el enfoque *bottom-up* y sus aplicaciones dentro de un nivel estratégico en el ámbito urbano, consistente con la metodología empleada por la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) para elaborar los Inventarios de Emisión para las principales ciudades del país en fuentes móviles (vehículos motorizados) (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile, 2021).

La metodología considera las emisiones de contaminantes criterio y de GEI producidas por las fuentes móviles, conocidas como emisiones por tubo de escape, emisiones en frío, y las emisiones evaporativas. Además, estima las emisiones de polvo re suspendidas, las emisiones por desgaste de frenos y neumáticos. El modelo evalúa el impacto en los contaminantes: PM, PTS, CO, NO<sub>x</sub>, HCT, SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> y CH<sub>4</sub>), basados en factores aplicados en el continente europeo, así como, los factores de consumo de combustibles (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile, 2021).

Los factores de niveles de actividad de las fuentes móviles, provienen de modelos de transporte estratégico, en especial los modelos ESTRAUS o VIVALDI, los cuales son corridos por SECTRA, o bajo su supervisión, para las 22 aglomeraciones urbanas. La metodología requiere es complementada con información de las características del parque vehicular y perfiles o histogramas de flujos para el área de estudio con el propósito de lograr un mayor nivel de desagregación de las fuentes móviles (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile, 2021).

La información complementaria de transporte señalada se refiere a los parámetros característicos locales de cada ciudad, relacionados con las composiciones tecnológicas de los vehículos, de acuerdo a las normas de emisión que cumplen, y, por otra parte, de los flujos vehiculares diarios presentes en la ciudad contenidos en los perfiles normalizados de flujos por tipo de vehículo. Esta información suele estar desagregada por sectores para lograr captar diferencias de comportamientos entre los distintos sectores de la ciudad estudiada (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile, 2021). La Figura 3 presenta un esquema del diseño y la operación del modelo MODEM.

Es importante resaltar que la cadena de custodia de información y de calidad de los resultados de los inventarios de emisiones generadas por fuentes móviles en Chile es un caso de éxito y de referencia en gestión de la contaminación urbana y climática del transporte. SECTRA como organismo del estado asume la responsabilidad de levantar dichos estudios, bajo su desarrollo técnico o supervisión con consultores terceros. Sin embargo, en el marco del proceso de descentralización en Chile, es recomendable que SECTRA capacite y delegue este tipo de responsabilidades en el GORE y la



Municipalidad de Antofagasta, quienes a su vez deben destinar recursos humanos y presupuestales para facilitar la gestión de datos y la administración y mantenimiento de este tipo de modelos.

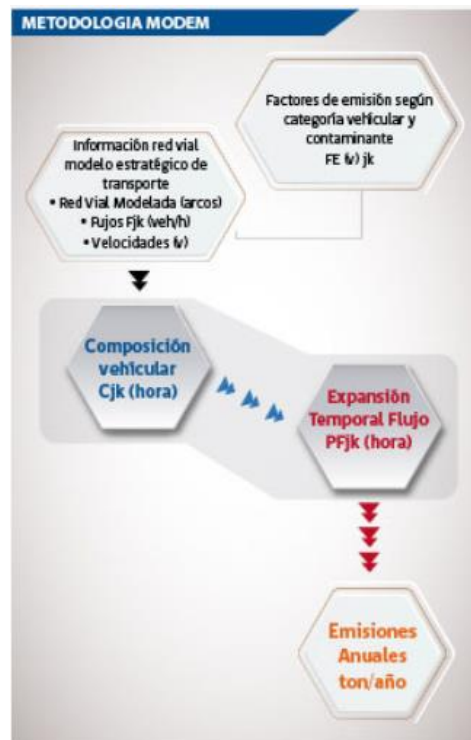


Figura 3. Diagrama de la metodología general del modelo MODEM.

## 4.2 EcoLogistics self-monitoring tool

Continuando con el objetivo de realizar análisis de emisiones en los escenarios de línea base y de mitigación de GEI se encuentra la calculadora “EcoLogistics self-monitoring tool” (en adelante, *EcoLogistics*), desarrollada para que las ciudades estimen sus emisiones de gases de efecto invernadero del transporte urbano de mercancías. La herramienta puede ser usada como un complemento de las estimaciones desarrolladas con la calculadora MYC con el ánimo de comparar resultados y distintas aproximaciones a la definición de metas climáticas.

*EcoLogistics*, permite la evaluación de escenarios de línea de base y objetivo en los que se implementan hipotéticamente tecnologías o estrategias específicas. También actúa como una calculadora de monitoreo para que las ciudades hagan comparaciones significativas a lo largo del tiempo y con otras ciudades en términos de emisiones de carga urbana. El término “ciudad” puede entenderse como entidades subnacionales distinguibles geográficamente, como áreas metropolitanas, ciudades, pueblos, comunidades y vecindarios.

La calculadora se encuentra disponible para su descarga en el siguiente [link](#) en versión en español e inglés, adicionalmente se dispone de un manual del usuario que detalla su funcionamiento. En detalle, está compuesta por un menú principal que da acceso a diferentes hojas de cálculo, donde se permite ingresar los datos de caracterización de la ciudad, la información de las medidas a aplicar y conocer los resultados. A continuación, se describen las pestañas e información necesaria en cada una de ellas para realizar un cálculo de reducción de emisiones.



Figura 4. Captura de pantalla home EcoLogistics

#### 4.2.1 Perfil de Ciudad

Esta hoja está diseñada para especificar las características del transporte de carga y las características geográficas y demográficas de la ciudad. Adicionalmente permite registrar el índice de calidad del aire y contaminantes clave. La información mínima requerida se lista a continuación.

Tabla 20. Información mínima requerida-Perfil de la ciudad

Item	Información
Características de la ciudad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciudad</li> <li>• País</li> <li>• Región</li> <li>• Área (km<sup>2</sup>)</li> <li>• Límites</li> <li>• Clima (clasificación Köppen)</li> </ul> Parámetros de la ciudad <ul style="list-style-type: none"> <li>• Población</li> <li>• PIB</li> <li>• Crecimiento de la población,</li> </ul> Transporte <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vehículos pesados (PBV&gt;3.5t) y Vehículos livianos (PBV&lt;=3.5t)</li> <li>• N° registrado de vehículos</li> <li>• Tasa de crecimiento anual de vehículos registrados</li> </ul> Objetivo de reducción de emisiones totales <ul style="list-style-type: none"> <li>• Objetivo de reducción de emisiones transporte carretero</li> </ul>
Parámetros de la ciudad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Población</li> <li>• PIB</li> <li>• Crecimiento de la población,</li> </ul>
Transporte	Vehículos pesados (PBV>3.5t) y Vehículos livianos (PBV<=3.5t) <ul style="list-style-type: none"> <li>• N° registrado de vehículos</li> <li>• Tasa de crecimiento anual de vehículos registrados</li> </ul> Objetivo de reducción de emisiones totales <ul style="list-style-type: none"> <li>• Objetivo de reducción de emisiones transporte carretero</li> </ul>

#### 4.2.2 Modos de transporte

La calculadora dispone de cálculo de emisiones para los modos fluvial, férreo y terrestre. Es importante mencionar que la evaluación de impactos en relación a las acciones predeterminadas solo se aplica al modo terrestre.

Tabla 21. Información mínima requerida-modo de transporte

Item	Información
Transporte Férreo:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de tren</li> <li>• Distancia total (km)</li> <li>• Tipo de tracción (unidad): (Energético)</li> <li>• Consumo(l/100km)</li> </ul>
Transporte fluvial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de buque (peso bruto)</li> <li>• Distancia total (km)</li> <li>• Tipo de combustible</li> <li>• Consumo (l/100km)</li> </ul>
Transporte Carretero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Categorías vehiculares                             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Bicicleta de carga</li> <li>o Moto-taxi (v,g, rickshaw, tuk tuk)</li> <li>o Motocicleta</li> <li>o Vehículo ligero (PBV &lt;3.5 t)</li> <li>o Camión rígido (3.5t &lt; PBV &lt; 7.5t)</li> <li>o Camión rígido (7.5t &lt; PBV &lt; 12t)</li> <li>o Camión rígido (12t &lt; PBV &lt; 20t)</li> <li>o Camión rígido (PBV &gt; 20t)</li> <li>o Camión articulado (PBV &gt; 20t)</li> </ul> </li> <li>• Distancia total recorrida por cada categoría vehicular en millones de kilómetros.</li> <li>• Tipo de combustible:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Diésel</li> <li>o Gasolina</li> <li>o GNC – Gas Natural Comprimido</li> <li>o GLP – Gas Liquiado de Petróleo</li> <li>o GNL – Gas Natural Licuado.</li> <li>o Electricidad</li> <li>o Bio-metano</li> <li>o Bio-GNC</li> </ul> </li> <li>• Consumo de combustible (l/100 km), Opcional, la calculadora dispone de valores por defecto.</li> <li>• Factor de ocupación de carga (%), Opcional, la calculadora dispone de valores por defecto.</li> </ul>

Al diligenciar cada uno de los modos la calculadora permite calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>e en millones de toneladas e insertar la combinación de tipo de vehículo, Distancia total, tipo de combustible y consumo en la base de datos. Estas entradas serán utilizadas para la evaluación de impacto de acciones y el cálculo de emisiones.

#### 4.2.3 Evaluación de impacto

La calculadora permite evaluar el impacto de 4 acciones específicas en el transporte carretero, las variables de cada acción están previamente establecidas y no es posible aplicar nuevas acciones. Se debe definir cuál será el incremento porcentual del transporte anualmente, el cual se aplica para todas las acciones, A continuación, se detallan estas acciones:

- **Cambio de combustible** (tipo *mejorar*) esta acción aplica el cambio de combustible en toda la flota del energético que se seleccione para ser reemplazado, Incluye tecnologías para promover la alta eficiencia y los combustibles alternativos como los biocombustibles, bio GNC, así como GNL, etc.

Tabla 22. Información mínima requerida-cambio de combustible

Item	Información
Tipo de vehículo:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bicicleta de carga</li> <li>• Moto-taxi (v.g, rickshaw, tuk tuk)</li> <li>• Motocicleta</li> <li>• Vehículo ligero (PBV &lt;3.5 t)</li> <li>• Camión rígido (3.5t &lt; PBV &lt; 7.5t)</li> <li>• Camión rígido (7.5t &lt; PBV &lt; 12t)</li> <li>• Camión rígido (12t &lt; PBV &lt; 20t)</li> <li>• Camión rígido (PBV &gt; 20t)</li> <li>• Camión articulado (PBV &gt; 20t)</li> </ul>
Vehículo refrigerado	(si/no)
Combustible de referencia o combustible que se va a reemplazar	Combustible de referencia
Combustible a usar	Combustible a usar

- **Reducción de la distancia** (tipo *evitar*): implica la reducción de kilómetros recorridos del vehículo de un tipo específico de vehículo.

Tabla 23. Información mínima requerida-Reducción de la distancia

Item	Información
Tipo de vehículo:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bicicleta de carga</li> <li>• Moto-taxi (v.g., rickshaw, tuk tuk)</li> <li>• Motocicleta</li> <li>• Vehículo ligero (PBV &lt;3.5 t)</li> <li>• Camión rígido (3.5t &lt; PBV &lt; 7.5t)</li> <li>• Camión rígido (7.5t &lt; PBV &lt; 12t)</li> <li>• Camión rígido (12t &lt; PBV &lt; 20t)</li> <li>• Camión rígido (PBV &gt; 20t)</li> <li>• Camión articulado (PBV &gt; 20t)</li> </ul>
Vehículo refrigerado	(si/no)
Combustible de referencia o combustible que se va a reemplazar	Combustible de referencia

- **Conducción eficiente** (tipo *mejorar*): implica capacitar a los conductores para conducir de manera ecológica a fin de ahorrar combustible y reducir las emisiones.

Tabla 24. Información mínima requerida-conducción eficiente

Item	Información
Tipo de vehículo:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bicicleta de carga</li> <li>• Moto-taxi (v,g, rickshaw, tuk tuk)</li> <li>• Motocicleta</li> <li>• Vehículo ligero (PBV &lt;3,5 t)</li> <li>• Camión rígido (3,5t &lt; PBV &lt; 7,5t)</li> <li>• Camión rígido (7,5t &lt; PBV &lt; 12t)</li> <li>• Camión rígido (12t &lt; PBV &lt; 20t)</li> <li>• Camión rígido (PBV &gt; 20t)</li> <li>• Camión articulado (PBV &gt; 20t)</li> </ul>
Vehículo refrigerado	(si/no)
Tasa de ahorro de combustible	Tasa

- **Entregas fuera de horario** (tipo *mejorar*) esta acción se enfoca en cambiar las entregas de carga del horario convencional y en hora pico a periodos fuera de horario.

Tabla 25. Información mínima requerida-entregas fuera de horario

Item	Información
Tipo de vehículo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bicicleta de carga</li> <li>• Moto-taxi (v,g, rickshaw, tuk tuk)</li> <li>• Motocicleta</li> <li>• Vehículo ligero (PBV &lt;3.5 t)</li> <li>• Camión rígido (3.5t &lt; PBV &lt; 7.5t)</li> <li>• Camión rígido (7.5t &lt; PBV &lt; 12t)</li> <li>• Camión rígido (12t &lt; PBV &lt; 20t)</li> <li>• Camión rígido (PBV &gt; 20t)</li> <li>• Camión articulado (PBV &gt; 20t)</li> </ul>
Vehículo refrigerado	(si/no)
Periodo fuera de horario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 7 pm - 6 am</li> <li>• 6 pm -10 pm</li> <li>• 6 am -7pm</li> </ul>

#### 4.2.4 Resultados

Esta hoja presenta el resumen de resultados de CO<sub>2e</sub> en millones de toneladas para cada uno de los modos de transporte, tipos de viaje, emisiones por tipo de vehículo en el año referencia para cada uno de los modos y emisiones por tipo de combustible en el año de referencia para cada uno de los modos.

#### 4.2.5 Pilotaje de la herramienta Ecologistics en Antofagasta

Como parte del presente ejercicio, se realizó la aplicación de la calculadora Ecologistics a Antofagasta, introduciendo la información disponible y mínima requerida por la calculadora para obtener la estimación de emisiones. A continuación, se presentan los campos diligenciados, fuentes de información y el procedimiento para actualizarlos:

Perfil de la ciudad: en la hoja inicial se introdujeron los siguientes datos

Tabla 26. Información socioeconómica Antofagasta.

Variable	Valor	Año	Fuente
Área (km <sup>2</sup> )	65.987	2012	<a href="#">Provincia de Antofagasta   Subdere</a>
Clima	BWk	2021	<a href="#">Clima Guadalajara: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Guadalajara - Climate-Data.org</a>
Población	410.898	2017	<a href="#">Área Metropolitana de Guadalajara   Gobierno del Estado de Jalisco</a>
Tasa crecimiento poblacional	1.5	2017	<a href="#">plantilla censo (ine.cl)</a>
PIB – Millones USD	80.656	2014	<a href="#">Antofagasta - Ficha de información regional 2019 (odepa.gob.cl)</a>
N° registrado de vehículos (k) PBV <sup>6</sup> >3.5 ton	5.330	2017	INE 2017
N° registrado de vehículos (k) PBV<3.5 ton	17.674	2017	INE 2017
Objetivo de reducción de emisiones totales transporte carretero	0-3%	2019	Estimado

#### 4.2.6 Carga urbana-carretera:

En la hoja carga urbana-carretera se introducen los datos suministrados en Anexos IEFMU. Modelo Sectra-Modem (EMEP) en referencia al consumo por tipo de combustible para vehículo ligero y camión rígido. Adicionalmente los datos de distancia total por categoría se toman de cálculos internos con base en información totalizada del IEFMU. Es importante mencionar que en esta sección de la calculadora se deben insertar los datos ingresados en la base de datos para que cada combinación de información sea sumada al número total de emisiones por modo y tipo de combustible. Así mismo los consumos especificados serán tenidos en cuenta al momento aplicar la acción de cambio de combustible.

<sup>6</sup> Peso Bruto Vehicular

**Datos de entrada del transporte por carretera**

**Año:** 2019

**Peso bruto del vehículo (t):** Vehículo ligero (<3.5 t)

**Factor de carga (%):** 24

**Distancia total (millones km):** 682,25

**Milliones ton.km:** 212,862

**Tipo de combustible:** Gasolina pura

**Consumo (l/100 km)\*:** 11,87  NA

**Tipo de viaje:** No aplica

**Tipo de mercancía:** Not applicable

**Seleccionar si es refrigerado**

**Nº vehículos (k):** 34800

**Años vehículos:** Not applicable

**Unidad combustible:** litro

**Electricidad FE<sup>2\*,3\*</sup>:** No aplica

**Emissiones (Millones de toneladas)**

**CO<sub>2</sub>:** 0,228372272

**CO<sub>2e</sub>:** 0,221473201

\* Consumo de combustible (litros / 100 km), (galones / 100 km), (kg / 100 km) o (kWh / 100 km), según el tipo de combustible y su unidad respectiva.  
 2 \* Factores de emisión de electricidad (g CO<sub>2e</sub> por kWh), cuando los usuarios eligen la electricidad como tipo de energía.  
 3 \* La Agencia Internacional de Energía (AIE) compila y publica listas actualizadas anualmente de factores nacionales de emisión de electricidad, y recomendamos que las ciudades lo utilicen como fuente de información. Se pueden encontrar otras fuentes disponibles en [https://www.carbonfootprint.com/docs/2019\\_D6\\_emissions\\_factors\\_sources\\_for\\_2019\\_electricity.pdf](https://www.carbonfootprint.com/docs/2019_D6_emissions_factors_sources_for_2019_electricity.pdf).

Figura 5. Captura de pantalla carga urbana: carretera Ecologicalistics

Luego de ingresar los datos mínimos requeridos (celdas de color amarillo) se debe utilizar el botón calcular para obtener el cálculo de emisiones en CO<sub>2</sub> y CO<sub>2e</sub>. A continuación, es necesario utilizar el botón insertar para guardar la información en la base de datos, se observará una ventana de confirmación y la calculadora mostrará la base de datos actual. Adicionalmente es posible ingresar la base de datos utilizando el botón mostrar

Road transport records

Columna A	Columna B	Columna C	Columna D	Columna E	Columna F	Columna G	Columna H	Co
Año	Peso bruto del vel	Factor de carga	Distancia total (mil	Milliones ton.km	Tipo de combustib	Unidad de combus	Consumo (l/100km	CO
2019	Vehículo ligero (<	24	682,25	212,862	Gasolina pura	litro	11,87	0,2
2019	Camión rígido (3,5	60	338,73	467,4474	Diésel puro	litro	22,74	0,2
2019	Vehículo ligero (<	36	103,59	48,48012	Diésel puro	litro	13,27	0,0
2019	Camión rígido (3,5	60	314,14	433,5132	Gasolina pura	litro	25,91	0,2
2019	Camión rígido (12t	60	338,73	1707,1992	Diésel puro	litro	22,74	0,2
2019	Camión rígido (12t	60	314,14	1583,2656	Gasolina pura	litro	25,91	0,2

Figura 6. Captura de pantalla base de datos Ecologicalistics

Finalmente, para editar la información ya guardada en la base de datos, es necesario ingresar a la ventana anterior y seleccionar la combinación que se quiere editar, y utilizar el botón seleccionar fila.

La calculadora cargará la información nuevamente en la ventana de la Figura 6, luego de editar la información se debe utilizar el botón insertar, aceptando la ventana de confirmación que especifica que se actualizará la información. De esta forma es posible actualizar la información de la calculadora Ecologistics para continuar con su aplicación.

### 4.3 Tablero parque vehicular - Chile

Como parte de este ejercicio y con la información disponible de la base de datos de permisos de circulación 2019, fue desarrollado un tablero de visualización de la información en la herramienta Power BI, la cual permite consolidar la información y ordenarla facilitando su análisis. Este tablero se entrega como resultado adicional del proyecto [enlace](#).

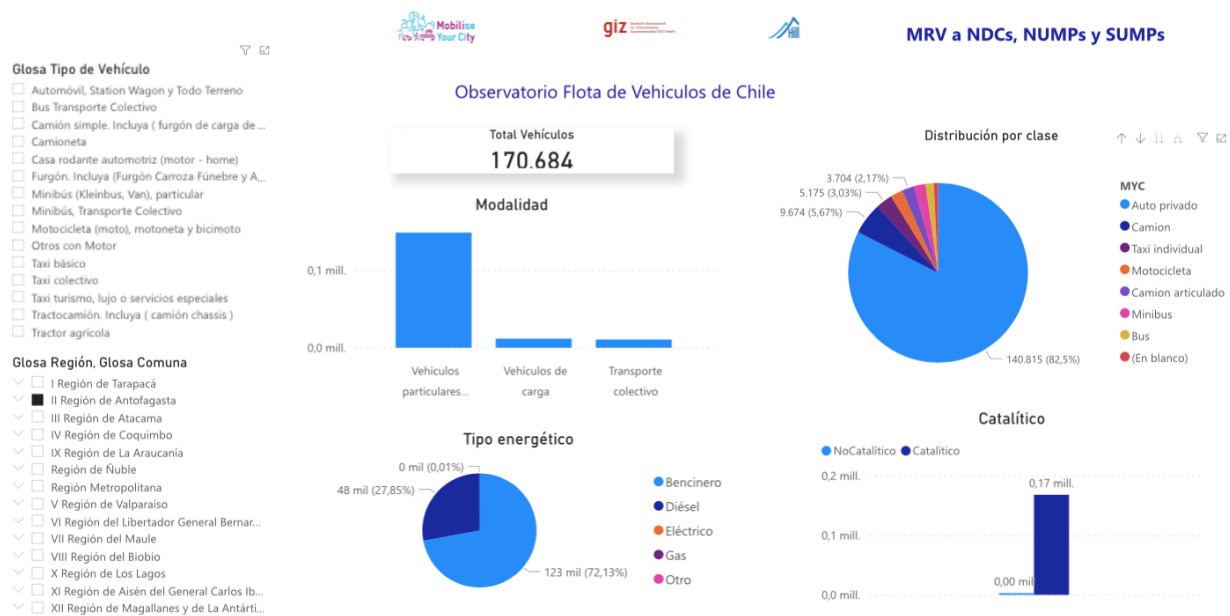


Figura 7. Tablero de visualización de flota vehicular de Chile filtrado para la región de Antofagasta

En caso que se quiera actualizar el tablero construido, se deben realizar los siguientes pasos:

1. Tener base de datos de permisos de circulación actualizada conservando la misma estructura de campos (Ver Anexo 5. Base de datos permisos circulacion.xlsx).
2. Abrir el archivo Permisos de circulacion.pbix (Ver Anexo 6. Permisos de circulacion.pbix.) con instalación previa de [power bi desktop](#) (gratuito)
3. Dirigirse al menú Archivo-opciones de configuración-configuración de origen de datos y modificar el origen de la base de datos de acuerdo a la ubicación local del archivo (Ver Figura 8)
4. Actualizar el tablero utilizando la opción actualizar del menú inicio (Ver Figura 9).



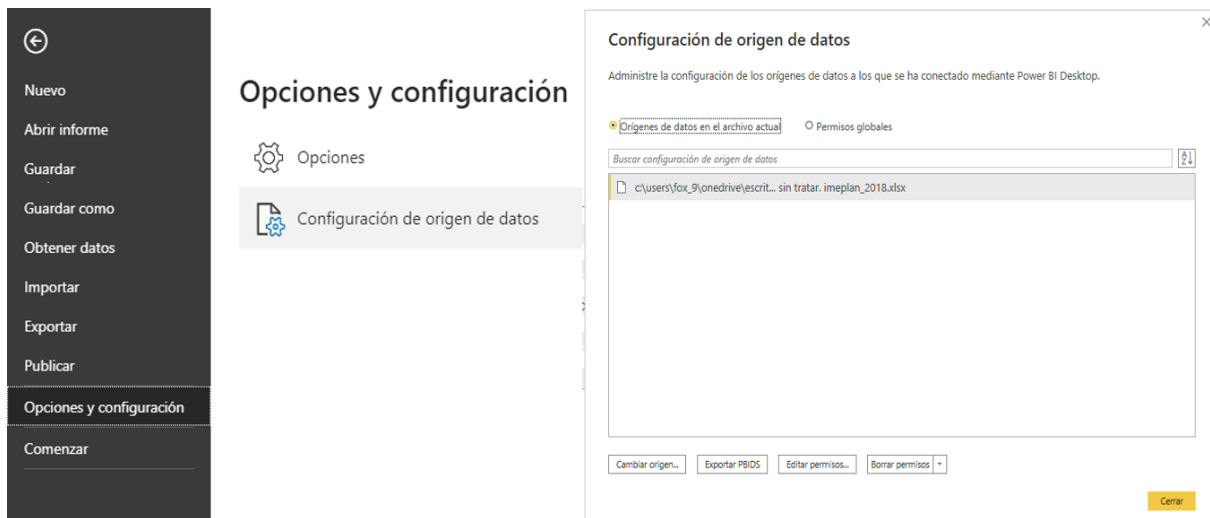


Figura 8. Capturas de pantalla de Power BI para actualización de datos

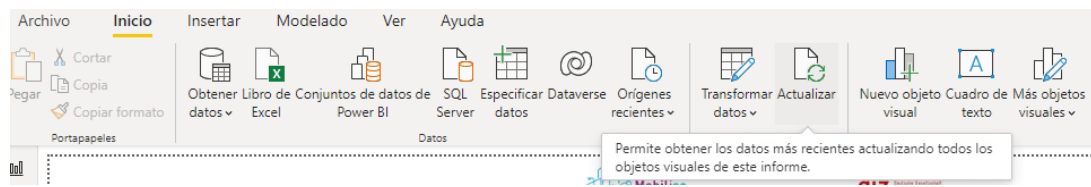


Figura 9. Capturas de pantalla para configuración de origen de datos en Power BI

De esta forma se actualizará el tablero con la información registrada en la base de datos y será posible su publicación en la web siguiendo el siguiente paso a paso disponible en este [link](#). Este procedimiento solo puede realizarse si se cuenta con una licencia de Power BI pro.

#### 4.4 Métodos de levantamiento de información para indicadores de movilidad

Tradicionalmente, la principal fuente de información de los patrones de viaje de una ciudad son las encuestas origen – destino normalmente hechas en hogares, que suelen tener una periodicidad entre 5 y 10 años; esta información ha demostrado ser válida para planear, diseñar e implementar las necesidades de movilidad de una ciudad. Sin embargo, sus costos y la frecuencia con que se renueva resulta ser un inconveniente porque no permite evidenciar actuaciones o intervenciones urbanas intermedias y suele ser común que en ciudades pequeñas e intermedias el intervalo entre encuestas supere los 10 años.

Adicionalmente, en la medida que más se conecta el mundo el interés por recopilar información de las personas para perfilar sus hábitos de consumo, comportamiento, corriente ideológica, condiciones socioeconómicas etc., han llevado a un incremento en la aplicación de encuestas y la captura de información por diferentes medios, lo que hace más difícil la tarea de encuestas en hogares porque existe ahora una menor disposición a atenderlas.

Ahora bien, se vienen implementando otras formas de levantar esta información que puede disminuir la periodicidad y quizás los costos como los son el uso de aplicaciones móviles, la encuestas en línea y



el uso de datos móviles agregados (Big Data). A continuación, se explica brevemente las implicaciones de cada uno de estos métodos y, en la *Tabla 27* una calificación cualitativa de los mismos que puede apoyar la toma de decisión acerca de cuál emplear en el marco de un sistema de monitoreo para el PMUS.

- Aplicaciones Móviles:** La mayoría de las aplicaciones móviles, tienen acceso a la ubicación de los usuarios (por supuesto autorizado por el usuario), información relevante para determinar orígenes y destinos de los viajes, a su vez se han venido desarrollando aplicaciones dedicadas al transporte o a resolver necesidades de transporte, sin embargo, son pocas las que atienden o recogen todos los modos de una ciudad: casos como Google Maps, en donde para la sugerencia de ruta se escoge el modo muestra un gran fuente de información continua de los viajes de una persona. El uso de aplicaciones como fuente de información para caracterizar los viajes de una ciudad requiere de una revisión cuidadosa para garantizar la validez estadística de los datos debido a que la muestra, es decir la población que la usa, puede estar inclinada hacia un grupo bien sea por edad, localización nivel de ingresos o grado de educación entre otros. El ordenamiento de los registros por modo depende de la información entregada por el usuario y la capacidad de aprendizaje del software que procesa los datos (inteligencia artificial): requiere información sociodemográfica, usos de suelo, redes de transporte y de servicios entre otros.
- Encuestas en línea:** Al igual que las aplicaciones móviles el reto de esta forma es conseguir la validez estadística, sin embargo, empresas dedicadas a este tipo de encuestas vienen mejorando el grupo muestral: suelen tener validez en cuanto a la cobertura geográfica, pero debilidad en cuanto al cumplimiento por edad o grupo socioeconómico. El grupo muestral suele ser fidelizado mediante incentivos por la atención de encuestas. Al ser una encuesta se puede capturar información de modo y motivo.
- Datos Móviles (BIG DATA):** Este método recoge toda la actividad de la red móvil y dado que la gran mayoría de la población cuenta con un celular la muestra en cobertura geográfica regularmente es válida. Al igual que las aplicaciones móviles necesita de inteligencia artificial para lograr identificar modo de viaje y motivo. Debido al registro permanente de información se puede hacer seguimiento continuo de los patrones de viaje. La gran ventaja de los datos móviles radica en que la recolección de información es pasiva y no se debe recurrir a la memoria de los usuarios ni a su percepción del tiempo. La principal dificultad de esta metodología radica en la identificación de características particulares del viaje como el modo de transporte y el motivo, sin embargo, esta información puede ser obtenida mediante encuestas cortas (por mensaje)

*Tabla 27. Calificación Cualitativa de los métodos*

Método	Validez Estadística	Costo <sup>7</sup>	Frecuencia <sup>8</sup> de información	Resultados en el Tiempo
Encuestas O-D, hogares	Alta	Alto: por trabajo de campo	Baja	Al terminar procesamiento

<sup>7</sup> Aunque los costos son difíciles de determinar, se ha establecido una escala relativa bajo los siguientes criterios: una encuesta de hogares requiere de uso intensivo de personal en un corto periodo de tiempo y para cada nueva toma el gasto es similar, en el caso de encuestas en líneas se puede partir de una base muestral y de programación para replicar la encuesta con intervalos inferiores a dos años. En el caso de las aplicaciones y los datos móviles, necesitan de una intensiva etapa de programación y luego un constante procesamiento de los datos, aunque se tiene gran cantidad de información, en el caso de los datos móviles, las empresas operadoras suelen cobrar por los registros suministrados.

<sup>8</sup> Una frecuencia baja es tener un paquete de registros cada 5 años o más, media registros cada uno o dos años y alta registros menores a un año que incluyen variaciones mensuales (estacionales).



Método	Validez Estadística	Costo <sup>7</sup>	Frecuencia <sup>8</sup> de información	Resultados en el Tiempo
Aplicaciones Móviles	Depende de la penetración de la aplicación	Medio: alta necesidad de programación	Alta	Posterior a etapa de aprendizaje y penetración de la aplicación
Encuestas en línea	Media	Medio: Para preparación de la encuesta	Media	Al terminar procesamiento
Datos Móviles	Media – Alta: mejora con el tiempo	Medio – Alto: Por ahora hay una alta necesidad de programación y procesamiento de las bases de datos, pero en la medida que se aprenda el costos será menor	Alta	Posterior a etapa de aprendizaje.

Con la información obtenida con este tipo de métodos, es posible identificar parcialmente el comportamiento de los flujos de una ciudad, incluyendo orígenes y destinos de viaje, horarios y, con mayor esfuerzo, motivo y modo de transporte. A pesar de que el gran volumen de información puede ser útil para calibrar modelos de red, siempre será importante hacer validaciones con datos observados en campo y para ello se suelen utilizar aforos vehiculares, mediciones de ocupación y validaciones de sistemas de recaudo bien sea de pasajeros en transporte público o de peajes en vías de acceso a las ciudades, por ejemplo.

Una circunstancia distinta surge cuando se quiere evaluar una actuación específica, por ejemplo, un Desarrollo orientado al Transporte (DOT), un proyecto de electrificación de flota o de infraestructura para promover transporte activo. En estos casos, es aconsejable recurrir a un modelo de 4 etapas para desarrollar evaluaciones de impacto ex ante, dado que su implementación causará cambios en las necesidades de viaje, la relación entre zonas y los patrones de elección modal. Este mismo modelo, puede ser alimentado en las etapas de medición y seguimiento, acompañado de recolecciones de información focalizadas en el área de estudio.

Los modelos de transporte tienen como principal finalidad explicar los viajes de las personas y ayudar en la planeación de una ciudad, región o país, sin embargo, para efectos de seguimiento de medidas no necesariamente se debe enmarcar en un modelo específico, sino que dependiendo las circunstancias y la información disponible puede variar el grado de complejidad del modelo.

Para el ámbito urbano, se suele pensar en la elaboración de un modelo clásico de 4 etapas<sup>9</sup>, pero quizás no sea necesaria la existencia de este para poder determinar las variables de seguimiento de una media mitigación de GEI. Por ejemplo, si con una encuesta se puede establecer origen y destino, magnitud y características del viaje (modo principalmente) y a estos datos se les puede verificar con mediciones en campo, es posible que solo se necesite de la etapa 4 del modelo clásico, es decir *la asignación* con la cual se haría la validación de las mediciones a través de procesos de calibración y se obtienen las variables relevantes para el seguimiento como lo es la actividad por modo (regularmente kilómetros totales - VKT).

<sup>9</sup> Modelo que busca explicar el comportamiento de los viajes desde la linealización de los eventos que ocurren Necesidad del viaje (Generación – Atracción), Conformación de la relaciones entre punto de viajes (Distribución), elección del Modo (Partición Modal) y escogencia de ruta (Asignación )

## 5 Lineamientos para la implementación de un observatorio de movilidad y cambio climático en Antofagasta

La experiencia internacional muestra que a pesar de los múltiples esfuerzos e inversiones por reducir las emisiones GEI del sector transporte, estas continúan con una tendencia creciente, y gran parte se debe al crecimiento de los países en vía de desarrollo. Factores como el aumento de la tasa de motorización, la pérdida de participación del transporte público en la distribución modal de viajes urbanos y el uso de flota vehicular con bajos estándares ambientales son parte de los retos a los cuales enfrentan las ciudades latinoamericanas. Además del aporte del transporte en las emisiones GEI, este sector también se ha identificado como una de las principales fuentes de contaminantes locales y ruido.

Por lo anterior, las métricas desde las cuáles se han medido tradicionalmente los sistemas de movilidad deben empezar a cambiar. En la actualidad, hace más sentido monitorear los impactos sociales y ambientales del tránsito de vehículos que medir su desempeño en términos de velocidad, de carreteras disponibles y tiempos de desplazamiento. La mayoría de gobiernos en la región planifican en función de la capacidad vial, la cantidad de vehículos motorizados y sus velocidades de operación en horas punta, en un afán por atajar una congestión que nunca alcanzan. Por eso, monitorear parámetros clave para calcular emisiones contaminantes no ha sido una prioridad, porque no hacen parte de los ciclos de planificación de proyectos de tránsito y transporte urbano.

Al incorporar requerimientos ambientales y climáticos en los ciclos de planificación, surge la necesidad de medir y hacer seguimiento al cumplimiento de dichos requerimientos. Esto es lo que sucede cuando se intenta integrar la agenda climática con las agendas de movilidad de cada ciudad, cada una con sus propias particularidades geográficas, económicas, sociales y políticas. Un ejemplo claro de ellos son las NUMP, los SUMP y los compromisos sectoriales del transporte a las NDC. Estos instrumentos de política necesitan esquemas de Monitoreo y Evaluación (M&E) de impactos sociales, ambientales y económicos, y esquemas de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) específicos para emisiones de GEI.

Para atender esa necesidad, a continuación, se hace una propuesta básica para la implementación de [Observatorios de movilidad baja en carbono](#) (en adelante OMBC<sup>10</sup>). Esta propuesta inicial, consiste en una serie de indicadores que son clave al momento de estimar las emisiones de un sistema de movilidad urbana y monitorear el impacto climático de políticas, planes, programas y proyectos constitutivos del PMUS de Antofagasta. Se incluyen también algunos indicadores de impactos no climáticos, que dan cuenta de la sostenibilidad social, económica y ambiental del sistema.

Los indicadores de progreso en la implementación de estos también son importantes, pero no se incluyen acá toda vez que deben ser ajustados a cada una de las medidas formalmente adoptadas en el marco de estos instrumentos. Consecuentemente, el resultado de las evaluaciones periódicas que se realicen de estos indicadores debe ser entendido como una herramienta que oriente la planeación de la movilidad urbana sostenible en el mediano y largo plazo.

### 5.1 Indicadores básicos para el seguimiento de impactos climáticos

De acuerdo con la aproximación metodológica usada para los cálculos de emisiones tipo *bottom-up* en el sector transporte, adoptada por la *calculadora de emisiones de MYC* y la *Self-Monitoring Tool de Ecologicalistics*,

---

<sup>10</sup> Es ideal que cada ciudad o región metropolitana idee un acrónimo de buena recordación y posicionamiento. Un Observatorio es útil en la medida en que el grupo de Observadores es amplio y diverso, para promover el debate y las mejoras al sistema.

la siguiente figura muestra una versión simplificada de las variables requeridas. En azul se destacan aquellas que describen los patrones de movilidad en una ciudad, y en verde las que corresponden a las características técnico-mecánicas de los vehículos y de los energéticos usados.

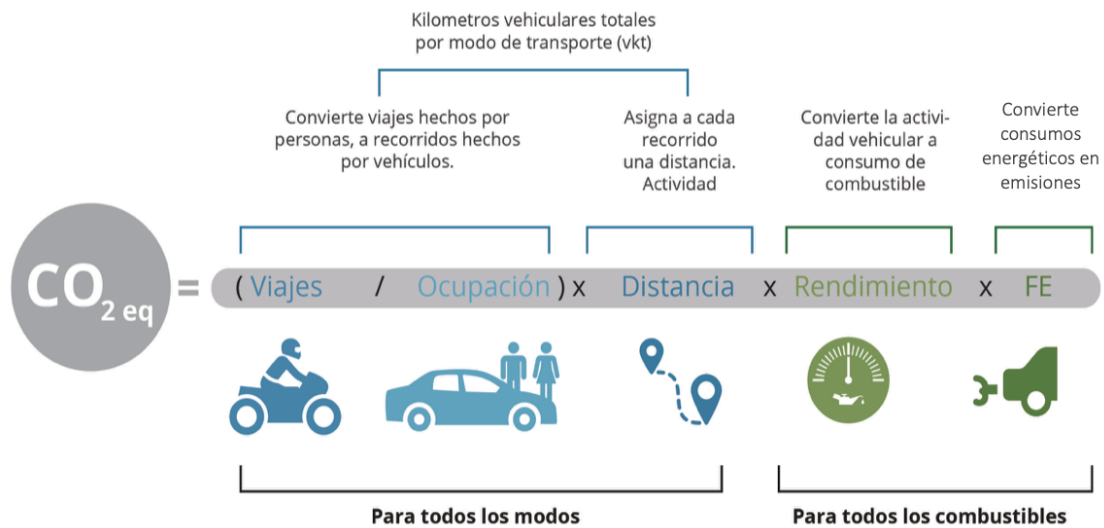


Figura 10. Variables necesarias para el cálculo de emisiones. Fuente: Findeter (2020)

La Ecuación 5, por su parte, traduce esta imagen a notación matemática para garantizar el entendimiento de cada una de las variables y las unidades que deben ser usadas en el sistema internacional (SI), que se explican también en la Tabla 28

Ecuación 5. Fórmula para el calculo de emisiones bajo la metodología bottom-up

$$ECO_{2e,i} = \sum_m a_{m,i} \sum_f \sum_c k_i \cdot \frac{1}{r_{f,k,i}} \cdot fe_c$$

Tabla 28. Definición de los términos de la Ecuación 1.

Término	Significado	Unidades en SI
<b>ECO<sub>2e,i</sub></b>	Emisiones de CO <sub>2e</sub> en el año i.	$\frac{tCO_{2e}}{\text{año}}$
<b>a<sub>m,i</sub></b>	Actividad por modo m, en el año i.	$\frac{VKTs}{\text{año}}$
<b>k<sub>i</sub></b>	Proporción de vehículos por tipo de flota f y tipo de energético c en el año i.	Adimensional (proporción)
<b>r<sub>f,i</sub></b>	Rendimiento del energético por tipo de flota f y energético c, en el año i.	$\frac{km}{gal \text{ diésel o gasolina}}; \frac{km}{m^3 \text{ GNV}}; \frac{km}{KWh}$
<b>fe<sub>c</sub></b>	Factor de emisión de CO <sub>2</sub> por tipo de energético c.	$\frac{kg \text{ CO}_2}{gal, m^3, KWh}$

Fuente: Elaboración propia.

Tal como indica la ecuación previa, la **actividad vehicular** debe ser reportada para todos los modos de transporte asociados a la planeación de movilidad local (de acuerdo con la homologación de estas categorías incluidas en el capítulo 2 de este documento). La siguiente tabla muestra una descripción y un listado de fuentes de información potenciales para cada una de las variables que permiten calcular dicha actividad, que es la variable fundamental para hacerle seguimiento al desempeño energético de un sistema de movilidad.

Tabla 29. Información de transporte para monitoreo de actividades vehiculares.

Indicador	Unidades	Descripción	Fuentes de información
Viajes totales por modo	Viajes / día Viajes / año	Representa la cantidad de viajes que se realizan en cada modo de transporte (caminata, bicicleta, transporte público, automóvil, motocicleta, etc.), durante el periodo de análisis.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Encuestas de origen - destino hecha en hogares, o encuestas de interceptación en calle.</li> <li>Estudios de tasas de viaje según perfiles socioeconómicos de la población en las ciudades.</li> <li>Tiquetes vendidos o validaciones en medios de pago electrónicos para viajes hechos en transporte público</li> </ul>
Partición modal de viajes	%	Porcentaje que representan los viajes de cada modo de transporte, respecto a los viajes urbanos totales de pasajeros.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Encuestas de origen - destino hecha en hogares, o encuestas de interceptación en calle.</li> <li>Encuestas telefónicas o con formularios virtuales de percepción ciudadana.</li> <li>Aforos de tránsito con personas o estaciones aforadoras automáticas. Este tipo de información, a diferencia de las encuestas, da cuenta de la partición modal en vías específicas y sirve para calibrar modelos de partición modal expandidos a nivel de ciudad.</li> </ul>
Distancia promedio de viaje por modo	km	Factor de actividad (distancia) de los viajes realizados en cada modo de transporte.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Encuestas de origen - destino hecha en hogares, o encuestas de interceptación en calle.</li> <li>Herramientas tecnológicas para analítica de big-data, como APPs con User Movement Analytics (basados en datos de GPS) o análisis de información de señales celulares. Este tipo de fuentes pueden ofrecer grandes muestras de usuarios, pero con dificultades para segmentarlos en modos de transporte.</li> </ul>
Ocupación vehicular	Pax/vehículo IPK <sup>11</sup>	Promedio de pasajeros que se transporta en un vehículo en un mismo viaje.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios de frecuencia y ocupación visual (FOV), en donde se mide la cantidad de personas que van a bordo en vehículos.</li> <li>Reportes de IPK por parte de operadores de transporte público, calculados con base en los kilómetros operativos de la flota y el total de pasajeros transportados.</li> </ul>

<sup>11</sup> Índice de Pasajeros por Kilómetro, como indicador alternativo exclusivo para Transporte Público de pasajeros  
 Hill Consulting SAS | Bogotá, Colombia | +(571) 937 1367 | contacto@hill.com.co | www.hill.com.co

Indicador	Unidades	Descripción	Fuentes de información
Km-vehículo recorridos por modo (VKT)	Km/día Km/año	Factor de actividad de cada modo, representando por el total de kilómetros recorridos por cada vehículo circulante.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculo directo a partir de los indicadores anteriores.</li> <li>• Reportes de corridas de modelos de cuatro etapas, específicamente del modelo de asignación de viajes a una red vial determinada para la ciudad.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se señala en el numeral 4.4, las encuestas de movilidad basadas en hogares son una de las principales herramientas de seguimiento, dado que permiten ver cómo van cambiando los patrones de viajes en las ciudades. Su importancia radica en que la información que se obtiene permite la construcción y calibración del modelo clásico de transporte o modelo de cuatro etapas (generación, distribución, partición y asignación de viajes), instrumento principal para la planeación y evaluación de estrategias de movilidad. Lamentablemente, son pocas las ciudades que tienen modelos propios de movilidad gestionados y calibrados periódicamente.

Sin embargo, para el contexto latinoamericano (en especial de ciudades con más de 1 millón de habitantes y en expansión), el diseño y ejecución de las encuestas en hogares resultan costosas, dado que las muestras representativas pueden implicar decenas de miles de hogares. Por eso es recomendable ejecutarlas en periodos de 4 a 5 años, pero apoyarse en otros instrumentos de captura de información en campo (encuestas de percepción ciudadana, aforos vehiculares, registro de flujos y velocidades, y big data de celulares) para calibrar los modelos o hacer seguimiento a indicadores intermedios.

Por otro lado, estos indicadores de movilidad permiten identificar variaciones agregadas de la ciudad, pero no atribuir efectos de causalidad directamente a una u otra medida que se haya implementado en el marco del PIMUS o la EMME, pues los cambios suelen ser el efecto integral de distintas intervenciones, además de elementos adicionales como el crecimiento poblacional, el comportamiento de la economía, los procesos de ocupación del territorio, entre otros. **Esto es un atributo deseable de un observatorio, cuyo objetivo hacer seguimiento al desempeño global del sistema, pero no demostrar el impacto de medidas puntuales con una causalidad científicamente demostrada.**

Por su parte, las variables relacionadas con las condiciones técnico-mecánicas de los vehículos (rendimientos y factores de emisión de los energéticos) demandan una caracterización de la flota automotor de cada ciudad. Generalmente, las ciudades tienen un registro automotor asociados a los procesos de patente o matrícula de estos, para permitir su circulación bajo las normativas de tránsito correspondientes a cada territorio.

La Tabla 30 incluye una descripción de estos indicadores y las fuentes potenciales de información. De cualquier forma, debe tenerse en cuenta que la caracterización del parque automotor constituye una primera aproximación al desafío de distribuir la actividad vehicular de todo el sistema de movilidad entre distintos tipos de energéticos, es decir, saber cuántos kilómetros anuales se recorren usando gasolina, gas natural o electricidad, por ejemplo. Este enfoque no refleja la realidad de los consumos, por lo que una alternativa más precisa es desarrollar encuestas de caracterización de vehículos en muestras representativas de estaciones de servicio en donde se vendan distintos energéticos (Gasolineras, electrolineras, gas).

Tabla 30. Indicadores de desempeño energético y emisiones

Indicador	Unidades	Descripción	Fuentes de información
Número de vehículos	#	Cantidad de vehículos registrados en la jurisdicción de cada ciudad, discriminados por modo de transporte (clase de vehículo y tipo de servicio, es decir, público o privado) y por energético usado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registros oficiales de vehículos matriculados o patentados en la ciudad o área metropolitana en donde se implemente el observatorio.</li> <li>Encuestas de hogares en donde se pregunte por la tenencia y uso de vehículos.</li> </ul>
Rendimientos energéticos	Km/energético (m <sup>3</sup> , litros, galones, KWh)	Describe la eficiencia energética de las distintas categorías vehiculares en función del kilometraje que son capaces de recorrer con una unidad de energético. Para los combustibles fósiles se usan unidades volumétricas (m <sup>3</sup> para gases, y litros o galones para líquidos) y en el caso de la electricidad, se usa KWh.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registros oficiales de vehículos matriculados o patentados en la ciudad o área metropolitana en donde se implemente el observatorio, siempre y cuando incluyan información de rendimientos declarados por fabricantes.</li> <li>Estudio de mercado de tipologías vehiculares en donde se identifiquen los rendimientos de fábrica o los rendimientos declarados por vendedores de vehículos usados.</li> <li>Estudios de campo para cálculo de rendimientos específicos según las condiciones geográficas y los patrones de conducción. Este es el caso ideal ya que reconoce las variaciones del indicador según las condiciones reales de operación en calle.</li> </ul>
Factores de emisión de los energéticos	CO <sub>2eq</sub> /energético (m <sup>3</sup> , litros, galones, KWh)	Indica las emisiones de CO <sub>2eq</sub> por unidad de energético consumido.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios de calidad de combustibles distribuidos en la ciudad o zona metropolitana, con balances estequiométricos para identificar contenidos de carbono y emisiones de GEI por combustión.</li> </ul>

Finalmente, los cinco indicadores de movilidad básicos presentados en esta sección, permitirían calcular los siguientes indicadores centrales de desempeño climático. La frecuencia de reporte depende de la disponibilidad de datos para actualizar los cálculos de emisiones. Idealmente, esto puede ocurrir bienalmente. Estos indicadores coinciden con algunos de los que son reportados en la calculadora MYC.



Tabla 31. Indicadores centrales de desempeño climático

Indicador	Unidades	Descripción	Fuentes de información
Consumo energético total	TJ/año	Consumos energéticos totales distribuidos por todos y cada uno de los combustibles fósiles usados en el sistema de movilidad, así como la energía eléctrica consumida.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculo indirecto a partir de indicadores de actividad y características del parque automotor.</li> <li>• Idealmente, debe contrastarse el cálculo con los reportes de ventas y distribución de empresas comercializadoras de combustibles fósiles y energía eléctrica.</li> </ul>
Emisiones totales de CO <sub>2eq</sub>	Ton CO <sub>2eq</sub> /año	Inventario total de emisiones GEI del sistema de movilidad, bajo un enfoque Tank-to-Wheels, ya que incluye exclusivamente las emisiones asociadas a la operación de los vehículos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculo indirecto a partir de indicadores de actividad y características del parque automotor con metodología <i>bottom-up</i></li> <li>• Modelos de emisión locales desarrollados por la autoridad ambiental.</li> <li>• Comprobación con cálculo tipo <i>top-down</i> a partir de registro de venta de combustibles.</li> </ul>
Emisiones por pasajero/kilómetro	CO <sub>2eq</sub> /pax-km	Indicador de emisiones específicas por personas y por kilómetro. Permite comparar de forma fácil el desempeño del sistema usando a las personas como unidades de análisis, similar a una huella de carbono per-capita.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculo directo a partir del inventario total anual de emisiones, el total de viajes realizados al año y los kilómetros recorridos totales del sistema.</li> </ul>

## 5.2 Indicadores para monitoreo de impactos no climáticos

Los indicadores de un OMBC deben permitir la detección de impactos de las NUMP y SUMP no solo sobre las emisiones de GEI, sino también sobre otros criterios de sostenibilidad como la accesibilidad, la asequibilidad, la equidad y la seguridad vial. De esto deben dar cuenta los instrumentos específicos de Monitoreo y Evaluación que se desarrollen específicamente para estos instrumentos de política, los cuales deben medir el progreso en el cumplimiento de las metas y objetivos definidos autónomamente en cada territorio. Estos sistemas M&E no necesariamente deben coincidir con los indicadores de un observatorio, pues los objetivos de política son distintos.

En cualquier caso, la siguiente tabla expone algunos indicadores de impacto no climáticos que podrían complementar la mirada de un OMBC.

Tabla 32. Propuesta de indicadores no climáticos para OMBC

Indicadores	Unidades	Frecuencia de monitoreo	Fuentes de información
Área Neta Urbanizada de la ciudad	hectáreas	Cuatrienal	Base predial catastral
Porcentaje de suelo urbanizado	%	Cuatrienal	Catastro y perímetro urbano oficial
Infraestructura para peatones	m <sup>2</sup>	Bienal	Inventario de redes viales y espacio público.
Infraestructura para ciclistas	km	Bienal	Inventario de redes viales y espacio público.
Infraestructura vial para tráfico mixto	km	Bienal	Inventario de redes viales y espacio público
Infraestructura vial exclusiva para transporte público carretero (v. gr. Troncales BRT)	km	Bienal	Inventario de redes viales y espacio público
Infraestructura vial exclusiva para transporte público sobre rieles	km	Cuatrienal	Inventario de redes viales y espacio público
Espacio público efectivo percapita	m <sup>2</sup> /hab	Bienal	Inventario autoridad de planeación
Tasas de motorización para automóviles y motocicletas privadas	Veh/1000 hab	Anual	Registros de automotores
Población	# personas	Anual	Autoridad de planeación - Censos
Participación del gasto de transporte en el ingreso del hogar	%	Anual	Encuesta de movilidad
Densidad poblacional	hab/ha	Bienal	Autoridad de planeación - Censos
Percepción de seguridad ciudadana en el espacio público	Escala 1 a 5	Anual	Encuesta de percepción ciudadana
Percepción de calidad del transporte público	Escala 1 a 5	Anual	Encuesta de percepción ciudadana
Emisiones de PM <sub>2.5</sub>	ton/año	Anual	Modelo de emisiones
Percepción de contaminación por ruido	Núm 1- 5	Anual	Encuesta de percepción ciudadana
Espacio verde percapita	m <sup>2</sup> /hab	Bienal	Inventario local de espacios verdes
Número de víctimas graves y mortales en siniestros viales	#	Anual	Autoridad de tránsito y transporte, Policía de tránsito e institutos forenses.
Recursos públicos comprometidos para financiar iniciativas asociadas a los SUMP o NUMP	USD	Anual	Autoridades de planeación, finanzas y hacienda
Recursos privados comprometidos para financiar iniciativas asociadas a los SUMP o NUMP	USD	Anual	Autoridades de planeación, finanzas y hacienda

## 6 Conclusiones

El proceso de elaboración de este protocolo para el uso de la calculadora MYC, demostró que Antofagasta cuenta actualmente con información para implementarla como herramienta para definir una meta de mitigación de GEI de su PMUS y establecer un escenario de referencia contra el cual comparar los futuros inventarios de emisiones. Esto, gracias a la gestión de información y el liderazgo del gobierno Chileno (especialmente de SECTRA) en materia de implementación de modelos de emisiones vehiculares, por un lado, y a la cooperación del programa Euroclima+ que facilitó la estructuración de escenarios futuros de movilidad en el marco del diseño y estructuración del PMUS.

Sin embargo, para que la calculadora funja como instrumento clave dentro de un mecanismo de Monitoreo, Reporte y Verificación es necesario formalizar procedimientos para el levantamiento y recopilación de datos de forma frecuente, periódica, transparente y verificable. Precisamente, en virtud del principio de transparencia de los mecanismos MRV, la asistencia técnica brindada con Hill dejó una clara trazabilidad de fuentes de información, no solo en este informe, sino también en el Anexo 1. MYC\_Tool\_final.1.3.2\_20210226\_Antofagasta\_VF). En este archivo de Excel® se incluyeron hojas de cálculo adicionales a las del libro original para permitirle a los usuarios identificar la fuente original de los datos, así como los procedimientos matemáticos para transformar los datos originales en las variables exigidas por la plataforma, son sus respectivas unidades, dimensiones, tipologías vehiculares y modos de transporte asociados.

Al reconocer la calculadora solo como un instrumento de cálculo de inventarios y escenarios, es claro que deben adelantarse varias actividades complementarias en Antofagasta para constituir formalmente un sistema MRV. En otras palabras, la calculadora no es en si misma un MRV, solo una herramienta de cálculo que puede ser usada para suplir algunas de las actividades requeridas. La siguiente tabla muestra las tareas que deberían surtir en el marco del desarrollo e implementación del PMUS con un Checklist semaforizado que plantea una hoja de ruta a seguir para instituir con rigor un MRV para este plan.

Tabla 33. Pases de implementación del PMUS y actividades del MRV

Fase del PMUS	Actividades MRV	Checklist
Fase 1: Preparándose para empezar	Se evalúan las necesidades de apoyo externo en MRV	■
	Se establece un presupuesto para MRV	■
Fase 2: Diagnóstico y escenarios	Se comprueba la disponibilidad de datos de transporte y se recopilan los datos disponibles	■
	Se calcula el escenario base para el desarrollo de las emisiones de transporte y se acuerdan supuestos entre las partes interesadas	■
Fase 3: Establecimiento de metas y desarrollo del plan de acción	Se describen los efectos esperados de la PMUS y las acciones previstas (relación causa-efecto / marco lógico)	■
	Se establece el alcance del enfoque de monitoreo (límites de evaluación)	■
	El impacto de los GEI del PMUS se ha calculado ex-ante	■

Fase del PMUS	Actividades MRV	Checklist
	Se describen las limitaciones de la cuantificación de las emisiones de GEI (incertidumbres)	Yellow
	Los beneficios de la movilidad sostenible se han evaluado ex-ante	Yellow
Fase 4: Validación del plan de acción	Si es necesario, ajuste el cálculo ex-ante del impacto de los GEI al plan de acción validado para el PMUS	Red
	Las necesidades de datos y los métodos de recolección han sido identificados y acordados por las partes interesadas correspondientes	Green
	Las responsabilidades de MRV se han asignado	Yellow
	Se ha confirmado un presupuesto preciso para MRV	Red
	Se ha elaborado un plan y procedimientos de monitoreo, incluyendo el aseguramiento de la calidad	Yellow
Fase 5: Implementación y monitoreo	Los datos se recogen, procesan y se controla la calidad de forma continua	Red
	El inventario de emisiones se calcula cada 1-3 años	Yellow
	El escenario de referencia se recalcula ex-post y las reducciones de emisiones se evalúan cada 1-3 años	Red
	Se puede proporcionar información de apoyo para verificar el impacto de los GEI	Red
	El informe de la implementación del monitoreo se produce anualmente	Red
	El informe de movilidad sostenible se publica cada 5 años (evaluación a medio plazo)	Red

Fuente: Elaboración propia a partir de la guía de elaboración de SUMP y NUMP de MYC

Finalmente, hacemos énfasis en la necesidad de definir un plan de acción con el concurso de entidades municipales, regionales y nacionales (aprovechando la Mesa de Movilidad Sustentable de Antofagasta como escenario de concertación) para recabar la información necesaria que permita actualizar la calculadora MYC, en el marco de un observatorio de movilidad baja en carbono como se sugiere en el capítulo 5 .

El proceso de descentralización que está viviendo Chile, puede ser una oportunidad para fortalecer las capacidades locales en materia de planificación y modelación de sistemas de movilidad en el GORE y la Municipalidad de Antofagasta, que actualmente dependen de la gestión técnica y presupuestal del gobierno nacional. Se recomienda a estas instancias de gobierno destinar recursos presupuestales y humanos para monitorear sus sistemas de movilidad e, idealmente, mantener calibrado un modelo de 4 etapas que facilite la obtención de las variables de seguimiento a las emisiones del parque automotor.

## 7 Referencias

Euroclima+. (2021). Plan de Movilidad Urbano Sostenible (PMUS) de Antofagasta. Retrieved from <http://www.movilidadgranada.com/cieudescargalo.php>

GreenLab-Dictuc S.A. - Euroclima+. (2020). Inventario de emisiones de fuentes móviles de ámbito urbano ( IEFMU ) 2012 - 2018.

INE. (2017). Censo 2017. Todos Contamos. Retrieved from [https://www.ine.cl/docs/default-source/censo-de-poblacion-y-vivienda/publicaciones-y-anuarios/2017/publicación-de-resultados/presentacion\\_resultados\\_definitivos\\_censo2017.pdf?sfvrsn=a2558ec0\\_6](https://www.ine.cl/docs/default-source/censo-de-poblacion-y-vivienda/publicaciones-y-anuarios/2017/publicación-de-resultados/presentacion_resultados_definitivos_censo2017.pdf?sfvrsn=a2558ec0_6)

Ministerio de Energía de Chile. (2018). Indicadores Ambientales - Factor de emisiones GEI del Sistema Eléctrico Nacional. Retrieved from <https://energia.gob.cl/indicadores-ambientales-factor-de-emisiones-gei-del-sistema-electrico-nacional>

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile. (2021). SECTRA-MODEM. Retrieved from [http://www.sectra.gob.cl/quienes\\_somos/mision.htm](http://www.sectra.gob.cl/quienes_somos/mision.htm)

ODEPA. (2019). Información regional de Antofagasta. Retrieved from <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/07/Antofagasta.pdf>

SECTRA & Trasa Ingeniería. (2010). Encuesta Origen Destino de Viajes Antofagasta 2010. 86.

## 8 Anexos

### 8.1 Anexo 1. MYC\_Tool\_final.1.3.2\_20210226\_Antofagasta\_VF

(Disponible como archivo de excel adjunto)

### 8.2 Anexo 2. Estudio de los escenarios climáticos en Antofagasta (Euroclima+, 2021)

Tabla A1. Lista general de medidas del PMUS.

Paquete	ID Medida	Medida
(TP) Transporte Público	TP-02	Rediseño de la malla de servicios de taxibuses
	TP-03	Renovación del parque vehicular de taxibuses y taxis colectivos
	TP-04	Política de tarifas del transporte público
	TP-07	Sistema de transporte masivo
	TP-09	Formalización de paradas e implementación de refugios
	TP-10	Formalización del sistema de transporte público (incl. administrador financiero)
(TA) Transporte Activo	TA-01	Red de ejes peatonales de alto estándar
	TA-02	Extensión paseos peatonales. Perímetros de prioridad peatonal (zona centro)
	TA-04	Extensión de la red de ciclovías
	TA-05	Sistema de bicicletas públicas
	TA-08	Estacionamientos de bicicletas
(AU) Desincentivo al Automóvil	AU-02	Medidas para calmar el tráfico
	AU-03	Mejorar el tráfico cerca de las escuelas
	AU-04	Política de gestión de estacionamientos
	AU-05	Zonas de transferencia transporte público-privado
	AU-07	Promover vehículos bajos en carbono
	AU-08	Programa de educación vial
(US) Uso de Suelo y Espacio Público	US-01	Incentivos para la generación de centralidades
	US-02	Zonas de renovación urbana e incentivos territoriales para uso residencial
	US-04	Implementación de estándares de accesibilidad universal en el espacio público
	US-08	Sistema de parques y plazas urbanas
(LG) Transporte Logístico	LG-01	Rutas y restricciones para camiones
	LG-04	Zonas de carga-descarga
	LG-05	Plataforma logística
	LG-06	Integración de la planificación logística en la planificación del uso de suelo

Paquete	ID Medida	Medida
(IM) Intermodalidad	IM-04	Sistemas inteligentes de transporte (ITS)
	IM-06	Integración tarifaria y medios de pago
	IM-08	Continuidad de ejes viales norte-sur
	IM-09	Habilitación y consolidación de transeptos urbanos
	IM-10	Estaciones intermodales y terminales integrados
(GB) Gobernanza	GB-04	Generar instancias de participación ciudadana para la movilidad
	GB-05	Creación de una corporación regional de transporte
	GB-10	Desarrollo del Plan de Infraestructura y Movilidad en el Espacio Público (PIMEP)
Paquete	ID Medida	Medida
(TP) Transporte Público	TP-02	Rediseño de la malla de servicios de taxibuses
	TP-03	Renovación del parque vehicular de taxibuses y taxis colectivos
	TP-04	Política de tarifas del transporte público
	TP-07	Sistema de transporte masivo
	TP-09	Formalización de paradas e implementación de refugios
	TP-10	Formalización del sistema de transporte público (incl. administrador financiero)
(TA) Transporte Activo	TA-01	Red de ejes peatonales de alto estándar
	TA-02	Extensión paseos peatonales. Perímetros de prioridad peatonal (zona centro)
	TA-04	Extensión de la red de ciclovías
	TA-05	Sistema de bicicletas públicas
	TA-08	Estacionamientos de bicicletas
(AU) Desincentivo al Automóvil	AU-02	Medidas para calmar el tráfico
	AU-03	Mejorar el tráfico cerca de las escuelas
	AU-04	Política de gestión de estacionamientos
	AU-05	Zonas de transferencia transporte público-privado
	AU-07	Promover vehículos bajos en carbono
	AU-08	Programa de educación vial
(US) Uso de Suelo y Espacio Público	US-01	Incentivos para la generación de centralidades
	US-02	Zonas de renovación urbana e incentivos territoriales para uso residencial
	US-04	Implementación de estándares de accesibilidad universal en el espacio público
	US-08	Sistema de parques y plazas urbanas
	LG-01	Rutas y restricciones para camiones

Paquete	ID Medida	Medida
(LG) Transporte Logístico	LG-04	Zonas de carga-descarga
	LG-05	Plataforma logística
	LG-06	Integración de la planificación logística en la planificación del uso de suelo
(IM) Intermodalidad	IM-04	Sistemas inteligentes de transporte (ITS)
	IM-06	Integración tarifaria y medios de pago
	IM-08	Continuidad de ejes viales norte-sur
	IM-09	Habilitación y consolidación de transeptos urbanos
	IM-10	Estaciones intermodales y terminales integrados
(GB) Gobernanza	GB-04	Generar instancias de participación ciudadana para la movilidad
	GB-05	Creación de una corporación regional de transporte
	GB-10	Desarrollo del Plan de Infraestructura y Movilidad en el Espacio Público (PIMEP)

Tabla A2. Escenario de implementación 2. Medias consideradas (este es el escenario usado en el presente documento).

Escenario	Paquete	ID Medida	Medida
E2 (Escenario de movilidad sostenible con priorización de modos)	(TP) Transporte Público	TP-02	Rediseño de la malla de servicios de taxi buses
		TP-03	Renovación del parque vehicular de taxi buses y taxis colectivos
		TP-04	Política de tarifas del transporte público
		TP-07	Sistema de transporte masivo
		TP-09	Formalización de paradas e implementación de refugios
		TP-10	Formalización del sistema de transporte público (incl. administrador financiero)
	(TA) Transporte Activo	TA-01	Red de ejes peatonales de alto estándar
		TA-02	Extensión paseos peatonales. Perímetros de prioridad peatonal (zona centro)
		TA-04	Extensión de la red de ciclovías
		TA-05	Sistema de bicicletas públicas
		TA-08	Estacionamientos de bicicletas
	(AU) Desincentivo al Automóvil	AU-02	Medidas para calmar el tráfico
		AU-03	Mejorar el tráfico cerca de las escuelas
		AU-04	Política de gestión de estacionamientos
		AU-05	Zonas de transferencia transporte público-privado
	(LG) Transporte Logístico	AU-07	Promover vehículos bajos en carbono
		AU-08	Programa de educación vial
		LG-01	Rutas y restricciones para camiones
		LG-04	Zonas de carga-descarga
		LG-05	Plataforma logística
	IM-04	Sistemas inteligentes de transporte (ITS)	





	(IM) Intermodalidad	IM-06	Integración tarifaria y medios de pago
		IM-08	Continuidad de ejes viales norte-sur
		IM-09	Habilitación y consolidación de transeptos urbanos
		IM-10	Estaciones intermodales y terminales integrados
	(GB) Gobernanza	GB-04	Generar instancias de participación ciudadana para la movilidad
		GB-05	Creación de una corporación regional de transporte
		GB-10	Desarrollo del Plan de Infraestructura y Movilidad en el Espacio Público (PIMEP)

### 8.3 Anexo 3. Estado Informacion Datos MYC Antofagasta.xlsx

(Disponible como archivo de excel adjunto)

### 8.4 Anexo 4. Encuestas de diagnóstico de capacidades

(Disponible como archivo de word adjunto)

### 8.5 Anexo 5. Base de datos permisos circulacion.xlsx

(Disponible como archivo de excel adjunto)

### 8.6 Anexo 6. Permisos de circulacion.pbix.

(Disponible como archivo de PowerBI adjunto)

### 8.7 Anexo 7. Ecologistics Self-monitoring Tool\_es\_v1.0 \_Antofagasta

(Disponible como archivo de excel adjunto)